



TUGAS AKHIR - MN 141581

**DESAIN *SELF-PROPELLED BARGE* PENGANGKUT LIMBAH
MINYAK DI KAWASAN PELABUHAN INDONESIA III**

MUHAMMAD SAYFUL ANAM

N.R.P. 4110 100 061

Dosen Pembimbing

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc

NIP. 19681212 199402 2 001

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT - MN 141581

DESIGN OF SELF-PROPELLED OIL WASTE BARGE IN PELABUHAN INDONESIA III REGION

MUHAMMAD SAYFUL ANAM

N.R.P. 4110 100 061

Supervisor

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc

NIP. 19681212 199402 2 001

Naval Architecture and Shipbuilding Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2015

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *SELF-PROPELLED BARGE* PENGANGKUT LIMBAH MINYAK DI KAWASAN PELABUHAN INDONESIA III

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD SAYFUL ANAM

N.R.P. 4110 100 061

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.



SURABAYA, JANUARI 2015

LEMBAR REVISI

DESAIN *SELF-PROPELLED BARGE* PENGANGKUT LIMBAH MINYAK DI KAWASAN PELABUHAN INDONESIA III

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai hasil sidang Ujian Tugas Akhir

Tanggal 7 Januari 2015

Bidang Studi Rekayasa Perkapalan
Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD SAYFUL ANAM

N.R.P. 4110 100 061

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D.

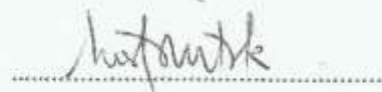
Ir. I Gusti Made Santosa.

M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc



SURABAYA, JANUARI 2015

Saya persembahkan untuk Bapak, Ibu, Adik, beserta seluruh keluarga
atas segala doa restu yang diberikan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“DESAIN *SELF-PROPELLED BARGE* PENGANGKUT LIMBAH MINYAK DI KAWASAN PELABUHAN INDONESIA III”** dengan baik.

Tidak lupa juga shalawat dan salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju kehidupan yang penuh ilmu pengetahuan.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

1. Ibu Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, ilmu, untuk membimbing penulis serta memberikan arahan dan masukan selama pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Dony Setyawan, S.T, M.Eng. selaku dosen wali penulis selama menjalani perkuliahan di jurusan teknik perkapalan ITS.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Ibu dan Bapak yang sangat penulis cintai dan sayangi, terima kasih atas kasih sayang, doa dan dukungannya. Seluruh motifasiku berawal darimu wahai ayah dan ibu.
5. Teman-teman P-50 (CAPTAIN) yang penuh semangat kebersamaan, saling memotivasi dalam setiap kebaikan.
6. Teman-teman “ISTANA”, Gigih, Mukhlis, Asyrof, Aziz, Danas, Munir, Hiddali, Dea dan tak lupa Yahya serta semua yang selalu memberikan tambahan semangat.
7. Teman-teman seperjuangan tugas akhir, Gigih Raditya R P, Mochammad Mukhlis Z A, Farouk Ade P, Ibnu Hartomo H.
8. Teman-teman Forum Bidikmisi Ponorogo (4BMP), yang juga selalu memberi semangat serta menjadi tempat curhat setiap minggunya.
9. Spesial buat Yuliana Kristi yang tidak pernah lelah memberi motivasi disaat penulis mulai jenuh, memberi semangat disaat penulis mulai malas, serta selalu mengingatkan disaat penulis mulai lupa.
10. Sahabat “DOTA” yang selalu memberi hiburan tersendiri disela-sela mengerjakan tugas ini.
11. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan tugas akhir ini terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Harapan penulis, semoga kelak ada usaha untuk penyempurnaan dari tugas akhir ini sehingga dapat bermanfaat untuk memajukan Indonesia dan hasilnya dapat mensejahterakan seluruh rakyat Indonesia.

Surabaya, Januari 2015

DESAIN *SELF-PROPELLED BARGE* PENGANGKUT LIMBAH MINYAK DI KAWASAN PELABUHAN INDONESIA III

Nama : Muhammad Sayful Anam
NRP : 4110 100 061
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Hesty Anita Kurniawati, M. Sc

ABSTRAK

Konvensi MARPOL 73/78 yang dimandatkan oleh IMO (*International Maritime Organization*), mempersyaratkan kepada setiap negara yang termasuk dalam konvensi ini untuk menyediakan fasilitas pengelolaan limbah minyak di pelabuhan yang bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat buangan limbah minyak dari kapal. Sedangkan Indonesia yang telah meratifikasi peraturan MARPOL 73/78, tidak sepenuhnya mematuhi peraturan tersebut. Kondisi saat ini hampir semua pelabuhan di Indonesia termasuk pelabuhan-pelabuhan yang berada dalam kawasan Pelabuhan Indonesia III (Persero) tidak mempunyai fasilitas pengelolaan limbah. Ketiadaan fasilitas pengolahan di pelabuhan tersebut dikarenakan tidak ada dukungan secara finansial dari pengelola pelabuhan. Untuk mengatasi permasalahan ini diberikan solusi penanganan limbah, khususnya limbah minyak dengan konsep transportasi laut. Penanganan tersebut dengan mengangkut limbah minyak di setiap pelabuhan menggunakan kapal khusus yaitu tongkang pengangkut limbah minyak dengan sistem penggerak sendiri (*Self-Propelled Barge*). Dengan kapal ini diharapkan semua limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III dapat diangkut untuk dilakukan proses pengolahan. Sehingga pencemaran laut akibat buangan limbah minyak dari kapal dapat dihindari. Proses desain *Self-Propelled Barge* diawali dengan menentukan pola operasi serta mencari ukuran utama yang optimal dari tongkang. Setelah didapatkan ukuran utama yang optimal dan memenuhi persyaratan yang diminta kemudian dilanjutkan dengan pembuatan Rencana Garis dan Rencana Umum. Dari proses desain ini didapat ukuran *Self-Propelled Barge* yang optimal adalah $L_{pp} = 55.3$ m, $B = 12.05$ m, $H = 3.44$ m, $T = 2.20$ m.

Kata kunci: Limbah minyak, Pelabuhan Indonesia III, *Self-Propelled Barge*.

DESIGN OF SELF-PROPELLED OIL WASTE BARGE IN PELABUHAN INDONESIA III REGION

Author : ***Muhammad Sayful Anam***
ID No. : ***4110 100 061***
Departement : ***Naval Architecture and Ship Building***
Supervisor : ***Ir. Hesty Anita Kurniawati, M. Sc***

ABSTRACT

MARPOL 73/78, adopted by IMO (International Maritime Organization), mandates all Contacting Government to provide oil waste processing facilities in port to minimize environmental pollutions. Indonesia, which has ratified MARPOL 73/78, however does not really implement such regulations. Current condition in almost all ports in Indonesia, including the ports that are located within Pelabuhan Indonesia III (Persero) does not have a oil waste processing facility. The absence of oil waste processing facilities at the port because there is no financial support from the port manager. To overcome this problem is given oil waste management solution, especially oil waste in concept of sea transport. The solution is to transport the oil waste in each ports by using a special vessel namely oil waste transport barge with own propulsion system (Self-Propelled Barge). With this vessel is expected all of oil waste within Pelabuhan Indonesia III region can be transported to be processed. So that marine pollution of the oil waste from ships can be avoided. The beginning of Self-Propelled Barge design process is to determine the operation pattern and find out the optimal main dimension of barge. After optimal main dimension is obtained and meets the requirement then followed by designing of Lines Plan and General Arrangement. From the design process obtained the optimum main dimension of Self-Propelled Barge: $L_{pp} = 55.3 \text{ m}$, $B = 12.05 \text{ m}$, $H = 3.44 \text{ m}$, $T = 2.20 \text{ m}$.

Key words: *Oil waste, Pelabuhan Indonesia III, Self-Propelled Barge.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Gambaran umum	1
1.2. Latar belakang	1
1.3. Rumusan masalah.....	2
1.4. Maksud dan tujuan	2
1.5. Batasan masalah	2
1.6. Manfaat.....	3
1.7. Sistematika penulisan.....	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah minyak	5
2.2 Moda pengangkutan limbah minyak	5
2.4 Tongkang dengan sistem penggerak sendiri (Self-Propelled Barge)	8
2.5 Sistem propulsi.....	10
2.5.1. L-drive system.	10
2.5.2. Z-drive system	11
2.5.3. Azipod system.....	11
2.6 Sistem perpipaan	12
2.7 Alat tambat barge	13
2.7.1. Jangkar	13
2.7.2. Rantai jangkar	13
2.7.3. Anchor winch.....	14
2.7.4. Tali temali	14
2.7.5. Hawse pipe dan anchor pocket	14

2.7.6.	Alat tambat.....	15
2.8	Teori desain.....	15
2.8.1.	Desain statement	15
2.8.2.	Concept design.....	16
2.8.3.	Preliminary design	17
2.8.4.	Contract design	17
2.8.5.	Detail design	18
2.9	Metode perancangan kapal.....	18
2.9.1.	Parent design approach	18
2.9.2.	Trend curve approach	19
2.9.3.	Iteratif design approach.....	19
2.9.4.	Parametric design approach	19
2.9.5.	Optimation design approach	19
2.10	Tinjauan teknis perancangan kapal	20
2.11	Metode optimisasi	24
2.11.1.	Metode search	25
2.11.2.	Program linear.....	26
2.11.3.	Program nonlinear.....	27
2.11.4.	Program separable.....	28
2.11.5.	Klasifikasi permasalahan optimisasi.....	28
BAB 3.	TINJAUAN DAERAH.....	31
3.1.	Sekilas tentang PT. Pelabuhan Indonesia III.....	31
3.1.1.	Tanjung Perak	32
3.1.2.	Tanjung Emas Semarang	33
3.1.3.	Pelabuhan Gresik	34
3.1.4.	Tanjung Tembaga Probolinggo.....	35
3.1.5.	Tanjung Wangi Banyuwangi	35
3.1.6.	Benoa Bali.....	35
3.1.7.	Lembar Lombok.....	37
BAB 4.	METODOLOGI PENELITIAN	39
4.1.	Diagram alir penelitian.....	39
4.2.	Langkah pengerjaan	40
4.2.1.	Mulai	40
4.2.2.	Tahap pengumpulan data	40

4.2.3.	Tahap studi literatur	41
4.2.4.	Tahap pengolahan data	42
4.2.5.	Tahap desain	44
4.2.6.	Kesimpulan dan saran	44
BAB 5.	ANALISIS TEKNIS.....	45
5.1.	Lokasi penelitian	45
5.2.	Penentuan pola operasi.....	46
5.2.1.	Penentuan rute pelayaran	46
5.2.2.	Penentuan waktu operasi kapal.....	49
5.3.	Penentuan payload.....	51
5.4.	Pembuatan model optimisasi.....	54
5.4.1.	Desain variabel.....	55
5.4.2.	Parameter	55
5.4.3.	Batasan.....	55
5.4.4.	Fungsi obyektif	57
5.4.5.	Layout awal.....	57
5.5.	Perhitungan teknis	58
5.5.1.	Pembuatan batasan.....	58
5.5.2.	Ukuran utama optimum	60
5.5.3.	Perhitungan hambatan.....	62
5.5.4.	Perhitungan stabilitas	63
5.5.5.	Perhitungan trim.....	67
5.5.6.	Perhitungan lambung timbul.....	68
5.5.7.	Perhitungan berat dan titik berat	69
5.5.8.	Fungsi obyektif	71
5.6.	Pembuatan Rencana Garis.....	74
5.7.	Pembuatan Rencana Umum	78
BAB 6.	KESIMPULAN DAN SARAN	85
6.1.	Kesimpulan.....	85
6.2.	Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....		87
LAMPIRAN A PERHITUNGAN TEKNIS KAPAL		
LAMPIRAN B RENCANA GARIS		
LAMPIRAN C RENCANA UMUM		

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Jarak antar pelabuhan.....	47
Tabel 5.2 Debit limbah minyak tiap pelabuhan	51
Tabel 5.3 Debit limbah minyak kawasan timur dan barat	52
Tabel 5.4 Perubahan payload	52
Tabel 5.5 Debit limbah minyak kawasan timur dan barat	53
Tabel 5.6 Variasi payload	53
Tabel 5.7 Daftar kapal pembanding	54
Tabel 5.8 Tabel regresi Structural cost	71
Tabel 5.9 Tabel regresi Outfitting cost	72
Tabel 5.10 Tabel regresi Machinery cost.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tongkang konvensional	6
Gambar 2.2 Tongkang pengangkut minyak (Oil Barge)	7
Gambar 2.3 Tongkang pengangkut cairan kimia (Chemical Barge)	7
Gambar 2.4 Tongkang pengangkut batubara (Coal Barge)	8
Gambar 2.5 Tongkang pengangkut kontainer (Container Barge).....	8
Gambar 2.6 Self-Propelled Barge	9
Gambar 2.7 L-Drive system.....	10
Gambar 2.8 Z-Drive system.....	11
Gambar 2.9 Azipod system.....	12
Gambar 5.1 Rute pelayaran kawasan barat.....	48
Gambar 5.2 Rute pelayaran kawasan timur	49
Gambar 5.3 Layout awal Self-Propelled Barge	57
Gambar 5.4 Input solver dalam excel	60
Gambar 5.5 Solver parameter	61
Gambar 5.6 Solver result yang sukses	61
Gambar 5.7 Parametric transformations	75
Gambar 5.8 Pembuatan lines plans dengan Maxsurf 20.....	76
Gambar 5.9 Nilai hidrostatik model.....	77
Gambar 5.10 Rencana Garis	78
Gambar 5.11 Sekoci Penolong.....	81
Gambar 5.12 Rencana Umum Self-Propelled Barge pengangkut minyak	83

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Gambaran umum

Pada bab 1 ini berisikan tentang latar belakang adanya suatu permasalahan yang dijadikan sebagai topik utama dalam pembuatan tugas akhir dimana bab ini juga berisikan rumusan masalah, maksud dan tujuan, batasan masalah, manfaat, serta sistematika dalam penulisan tugas akhir. Pembahasan permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini terdapat pada sub bab rumusan masalah. Dari permasalahan tersebut diperlukannya ruang lingkup atau batasan masalah agar tidak menyimpang jauh dari pembahasan yang sudah ditentukan, yang diatur dalam sub bab batasan masalah. Kemudian untuk sub bab maksud dan tujuan, serta manfaat membahas untuk apa tugas akhir ini dibuat dan manfaat apa saja yang diperoleh dalam pengerjaan tugas akhir ini. Serta dalam sub bab sistematika penulisan berisi bagaimana format penulisan tugas akhir ini.

1.2. Latar belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang dihubungkan dengan sarana penghubung yaitu pelabuhan. Pelabuhan merupakan tempat atau fasilitas jasa untuk melayani kapal yang datang di area dermaga, termasuk fasilitas penanganan limbah. Pengadaan fasilitas pengolahan limbah di Pelabuhan merupakan bagian dari pelaksanaan Konvensi Internasional tahun 1973 tentang pencegahan pencemaran dari kapal yang telah dimodifikasi oleh Protokol 1978 yang terkait dalam MARPOL 1973 jo 1978 (MARPOL 73/78) dan telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia pada tanggal 9 September 1986. Dan limbah minyak yang berasal dari kapal tersebut harus dikelola di Fasilitas Penanganan Limbah (*Port Reception Facilities*).

Dalam kondisi eksisting hampir pelabuhan di Indonesia termasuk pelabuhan-pelabuhan yang berada dalam kawasan Pelabuhan Indonesia III (Persero) tidak mempunyai fasilitas pengelolaan limbah, hanya ada fasilitas untuk penampungan dan penyimpanannya saja.. Hal ini disebabkan tidak adanya dukungan finansial akan pengadaan fasilitas penanganan limbah di setiap pelabuhan Indonesia. Permasalahan lain yang terjadi yaitu terdapat fasilitas penanganan limbah di pelabuhan tetapi tidak didukung dengan biaya operasional yang tepat dalam menjalankan kegiatan operasional penanganan limbah. Setelah Indonesia meratifikasi Peraturan MARPOL 73/78 Annex I, maka setiap pelabuhan Indonesia harus memiliki fasilitas penanganan limbah sesuai dengan syarat dan peraturan yang diterapkan di Peraturan MARPOL 73/78 dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah buangan kapal di pelabuhan.

Dalam studi sebelumnya, timbul solusi untuk menyelesaikan permasalahan finansial dalam pembangunan fasilitas limbah minyak di setiap pelabuhan yaitu dengan penanganan limbah minyak dari segi transportasi laut. Penanganan limbah minyak ini menggunakan moda angkut transportasi laut berupa *self-propelled barge*. Pengadaan tongkang ini dimaksudkan untuk mengangkut limbah minyak di setiap pelabuhan yang akan dilayani. Selanjutnya pengangkutan berakhir di pelabuhan penampungan akhir dan selanjutnya akan dikelola di fasilitas penanganan limbah minyak yang akan dibangun di kawasan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dengan adanya solusi ini maka pengadaan fasilitas pengolah limbah minyak di setiap pelabuhan tidak perlu dilakukan, karena solusi seperti ini sudah mewakili dalam pencegahan pencemaran akibat buangan limbah kapal.

1.3. Rumusan masalah

Sehubungan dengan latar belakang tersebut di atas permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini yaitu:

- Bagaimana pola operasi dan *payload Self-Propelled Barge* pengangkut limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III.?
- Bagaimana ukuran utama *Self-Propelled Barge* yang optimum?
- Bagaimana desain Rencana Garis dan Rencana umum *Self-Propelled Barge* tersebut?

1.4. Maksud dan tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk membuat rancangan awal atau *concept design* yang paling optimal dari *Self-Propelled Barge* yang dapat beroperasi di kawasan Pelabuhan Indonesia III. Sedangkan tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

- Menentukan pola operasi dan *payload Self-Propelled Barge* pengangkut limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III.
- Menentukan ukuran utama *Self-Propelled Barge* yang optimum.
- Mendesain Rencana Garis dan Rencana Umum *Self-Propelled Barge* tersebut.

1.5. Batasan masalah

Ruang lingkup penelitian ini difokuskan pada :

- Jenis muatan yang diangkut adalah limbah minyak dari kapal.
- Hanya berasal dari pelabuhan-pelabuhan di kawasan Pelabuhan Indonesia III (Persero) yaitu : Tanjung Perak (Surabaya), Tanjung Emas (Semarang), Pelabuhan Gresik (Gresik), Pelabuhan Probolinggo (Probolinggo), Tanjung Wangi (Banyuwangi), Benoa (Bali), dan Lembar (NTB).

- Aspek perancangan kapal yang diperhatikan adalah kondisi oseanografis wilayah operasional kapal.

1.6. Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah :

- Menyediakan konsep *Self-Propelled Barge* yang baik sebagai moda transportasi pengangkut limbah minyak di kawasan pelabuhan Indonesia III.
- Menyediakan desain *Self-Propelled Barge* pengangkut limbah minyak yang optimum serta memenuhi preferensi berdasarkan batasan masalah.

1.7. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah serta sistematika penulisan laporan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir. Dasar-dasar teori serta persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir tercantum dalam bab ini.

BAB III. TINJAUAN DAERAH

Bab ini berisikan sekilas mengenai daerah dimana kapal yang dirancang akan dioperasikan. Penjelasan mengenai kedalaman perairan, jarak pelayaran serta sumber daya yang terdapat di daerah tersebut dibahas pula dalam bab ini.

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tahapan metodologi dalam menyelesaikan permasalahan secara berurutan dimulai dari tahap pengumpulan data dan studi literature, hingga pengolahan data untuk analisis lebih lanjut yang nantinya akan menghasilkan sebuah kesimpulan guna menjawab perumusan masalah yang sudah ditentukan.

BAB V. ANALISIS TEKNIS

Bab ini merupakan inti dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini akan dibahas mengenai perencanaan muatan serta proses optimasi yang dilakukan guna mendapatkan ukuran utama yang sesuai serta memenuhi persyaratan.

BAB VI. PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapatkan dari proses penelitian yang dilakukan serta memberikan saran perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah minyak

Buangan yang berasal dari hasil eksplorasi produk minyak, pemeliharaan fasilitas produksi, fasilitas penyimpanan, pemrosesan, dan tangki penyimpanan minyak pada kapal laut. Limbah minyak bersifat mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif.

Lebih spesifik tentang jenis buangan limbah minyak dari kapal (*International Convention for Prevention of Pollution from Ships*) sebagaimana dimodifikasi dengan Protokol 1978 (MARPOL 73/78); yang juga menurut PP No. 18 Tahun 1998, peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 3 Tahun 2007, yang termasuk dalam kategori limbah minyak antara lain:

- Pelumas (*lubricating oil*)
- Lumpur minyak (*sludge*)
- Air bilga berminyak (*oily bilge water*)
- Air ballast berminyak (*dirty ballast water*)
- Air cucian tangki minyak (*oily tank washings*)

Kontaminasi minyak relatif kecil dan sedikit yang bersumber dari kapal atau perahu, namun akumulasi dari jumlah armada kapal atau perahu yang cukup besar akan memberikan dampak terhadap lingkungan yang cukup signifikan. Jumlah limbah per hari dianggap sebagai debit limbah yang akan ditampung dan diangkut oleh moda angkut. Dalam penelitian sebelumnya disajikan inputan data debit limbah dalam meter kubik dan satuan massa yaitu ton. Asumsi untuk massa jenis limbah minyak adalah 1.02 m³/ton (Firman, 2009). Dan dalam perhitungan jumlah limbah minyak per hari diberikan *safety stock* 5% untuk pengangkutan limbah disetiap titik pelabuhan.

2.2 Moda pengangkutan limbah minyak

Kapal bermuatan cair digolongkan dalam muatan curah karena jenis muatan ini tidak memerlukan pengemasan dan menggunakan konsep curah dalam proses bongkar muatnya. Moda yang mengangkut muatan cair disebut dengan kapal curah. Penanganan muatan curah menggunakan peralatan khusus untuk proses bongkar dan muat. Pada saat pembongkaran, ditempat pembongkaran isi dari palkah dihisap atau dibongkar dengan petolongan *conveyer* atau pompa (Suyono, 2005). Terdapat perbedaan terhadap muatan cair dan muatan curah, oleh karena

itu muatan cair diangkut dengan moda khusus yaitu: tanker atau tongkang pengangkut minyak. Dalam Tugas Akhir ini moda transportasi yang dipilih menggunakan tongkang dengan sistem penggerak sendiri untuk mengangkut limbah minyak. Jika cara pengumpulan limbah dilakukan menggunakan tongkang, perhatian khusus perlu diberikan pada desain peralatan untuk mencegah tumpahan atau ceceran yang harus dilengkapi dengan peralatan untuk penanganan jika terjadi tumpahan atau ceceran.

2.3 Tongkang

Tongkang (*barge*) merupakan salah satu kapal yang didesain dengan bentuk lambung dan bagian bawah yang datar. Pada umumnya tongkang dibangun untuk perairan sungai atau danau (*inland waterway*) maupun terusan (*canal*). Pada awal perkembangannya, tongkang didesain tanpa penggerak sendiri, sehingga tongkang harus ditarik dengan kapal *tug boat*.



Gambar 2.1 Tongkang konvensional

(Sumber: <http://tongkangsewa.wordpress.com>)

Secara umum tongkang dibedakan menjadi dua macam berdasarkan cara membawa muatan, yaitu tongkang yang membawa muatan di dalam palkah dan tongkang yang membawa muatan di atas palkah.

a. Tongkang yang membawa muatan di dalam palkah

Tongkang yang mengangkut muatan di dalam ruang muat/palkah memiliki lambung yang lebih tinggi dibandingkan dengan *deck barge*. Berikut ini adalah beberapa contoh tongkang yang muatan di dalam palkah.

- Tongkang pengangkut minyak (*Oil Barge*)

Tongkang ini mempunyai pompa-pompa untuk melakukan bongkar muat sendiri.



Gambar 2.2 Tongkang pengangkut minyak (*Oil Barge*)

(Sumber: <http://www.professionalmariner.com>)

- Tongkang pengangkut cairan kimia (*Chemical Barge*)
Adalah tongkang yang membawa cairan kimia, seperti *ethanol*, *asam sulfide*, *methanol*, dan lainnya.



Gambar 2.3 Tongkang pengangkut cairan kimia (*Chemical Barge*)

(Sumber: <http://www.maritime-executive.com>)

- Tongkang yang membawa muatan di atas palkah
Tipe tongkang ini memiliki karakteristik peletakan muatan di atas *deck*. Tipe tongkang seperti ini antara lain:
 - Tongkang pengangkut batubara
Tongkang ini memiliki tambahan *side board* di atas geladak, karena mengangkut batubara maka *side board* ini berfungsi sebagai dinding untuk menahan muatan agar tetap di atas tongkang.



Gambar 2.4 Tongkang pengangkut batubara (*Coal Barge*)

(Sumber: <http://tongkangsewa.wordpress.com>)

- Tongkang pengangkut petikemas

Tongkang petikemas tidak mempunyai *side board*, tetapi supaya muatannya aman maka dilakukan sistem pengikatan seperti umumnya pada kapal petikemas.



Gambar 2.5 Tongkang pengangkut kontainer (*Container Barge*)

(Sumber: <http://www.wiedornstuff.com/newcanalbarge/process.html>)

2.4 Tongkang dengan sistem penggerak sendiri (*Self-Propelled Barge*)

Dalam dunia maritim, tongkang merupakan pilihan untuk alat transportasi sungai karena kelebihanannya memiliki ukuran sarat yang sangat rendah. Tongkang dapat mengangkat barang dalam jumlah yang sangat besar, dan biaya investasi/pembangunannya yang sangat murah dibandingkan dengan kapal yang mempunyai fungsi sama. Namun perkembangannya tongkang dengan mekanisme ditarik dengan *tug-boat* memiliki banyak kekurangan dalam

pengoperasiannya di perairan sungai. Salah satu inovasi untuk mengatasi hal itu, yaitu dengan adanya tongkang dengan sistem penggerak sendiri (*Self Propelled Barge*)

Secara umum dapat digambarkan bahwa *Self Propelled Barge (SPB)* adalah kapal yang mempunyai bentuk seperti tongkang namun menggunakan tenaga pendorong sendiri. Apabila dibandingkan dengan biaya pembangunan kapal pada umumnya terlebih dengan kapal *bulk carier*, SPB mempunyai biaya pembangunan yang lebih rendah 1/3 kali dari kapal *bulk carier* [Harryadi Mulya, 2006], sehingga dapat disimpulkan pula bahwa biaya operasional SPB lebih rendah dibandingkan dengan kapal *bulk carier*. Adapun karakter dari tongkang yang menggunakan sistem penggerak sendiri dari segi operasional adalah sebagai berikut (Wicaksana, 2012).

- Dapat digunakan di perairan dangkal (kedalaman 3 m-8 m)
- Dapat digunakan di perairan dengan arus yang kuat (5-6 knot)
- Dapat digunakan pada perairan dengan alur yang ekstrim (wilayah kepulauan)
- Mampu menghadapi *air draft restriction* (jembatan melintang)
- Mampu menghadapi *water debris* (lumpur, sampah, dll)
- Mampu menghadapi dasar sungai atau laut yang berbatuan
- Kemampuan jarak tempuh yang relatif jauh



Gambar 2.6 *Self-Propelled Barge*

(Sumber: <http://www.globalchimaks.com/oil-barges>)

Dalam tugas akhir ini konsep moda transportasi yang digunakan adalah tongkang limbah minyak dengan sistem penggerak sendiri, yang sebelumnya mengadopsi tongkang yang merupakan jenis tongkang yang membawa muatan di dalam palkah. Sehingga desain

tongkang pengangkut limbah minyak ini juga merupakan jenis tongkang yang membawa muatan di dalam palkah.

2.5 Sistem propulsi

SPB yang dirancang memiliki bentuk yang khusus. Bentuk yang biasa pada Barge adalah memiliki nilai C_b yang besar antara 0.8 – 1, selain itu memiliki tinggi draft yang kecil sehingga harus menggunakan alat gerak atau *propulsion system* yang khusus pula. Jenis *propulsion system* yang paling banyak digunakan adalah jenis *azimuth system*. Sistem ini memiliki ciri yang unik yaitu pembelokan arah poros sehingga antara propeller dan mesin tidak dalam satu garis. Hal ini dimungkinkan karena menggunakan sistem ini dapat digunakan pada kapal yang memiliki draft yang kecil. Selain itu, *azimuth system* memiliki keunikan lainnya. Dengan dimungkinkan memiliki poros yang tidak segaris dengan mesin maka arah *propeller* dapat dibelokkan sehingga sistem ini tidak memerlukan *rudder system* karena fungsinya sudah diganti oleh *azimuth system*. Pemasangan *azimuth system* ini pada barge harus berkonfigurasi *twin propulsion*. Hal ini dikarenakan bentuk barge yang hampir berbentuk kotak sehingga aliran fluida tidak sepenuhnya menyatu pada bagian tengah buritan, maka penempatan yang efektif yaitu pada sisi samping yang masih dilalui aliran fluida. Selain itu menggunakan *twin azimuth system* akan membuat barge bermanuver lincah. Dalam perkembangan selama ini ada 3 jenis *azimuth system* :

2.5.1. L-drive system.

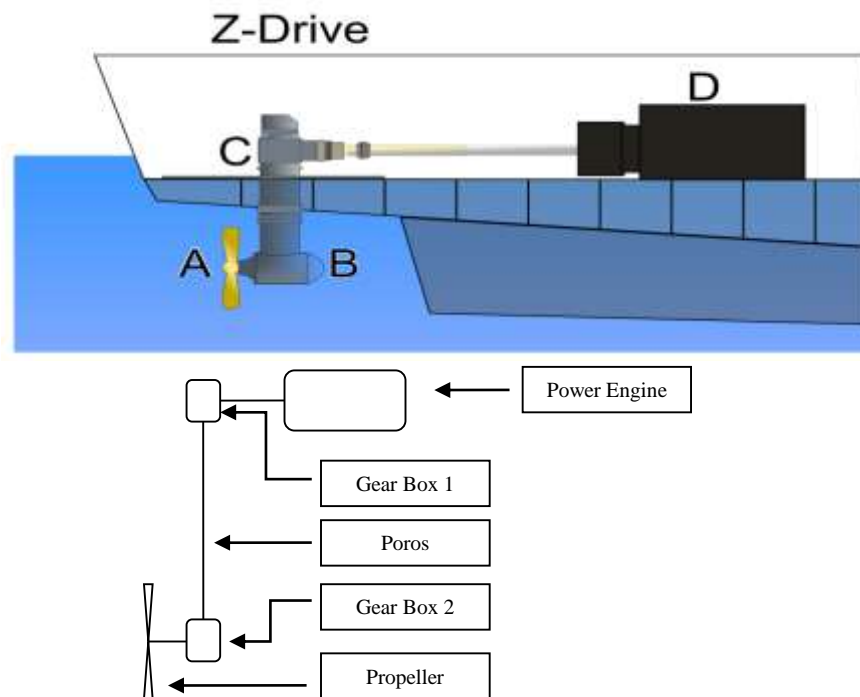
Sistem ini memiliki bentuk alur poros yang membentuk huruf L. Dalam sistem ini *power engine* ditempatkan pada posisi vertikal (berdasar arah porosnya) kemudian diteruskan oleh poros panjang dan dibelokkan 90° oleh *gearbox* sampai berposisi horizontal dan akhirnya diteruskan pada *propeller*. Pada umumnya untuk ukuran kecil bermesin torak, contohnya adalah mesin tempel pada boat. Untuk yang besar bermesin elektrik. Hal ini dikarenakan mesin torak yang besar tidak mungkin berposisi vertikal.



Gambar 2.7 L-Drive system

(Sumber: www.dwgtrading.com)

2.5.2. Z-drive system



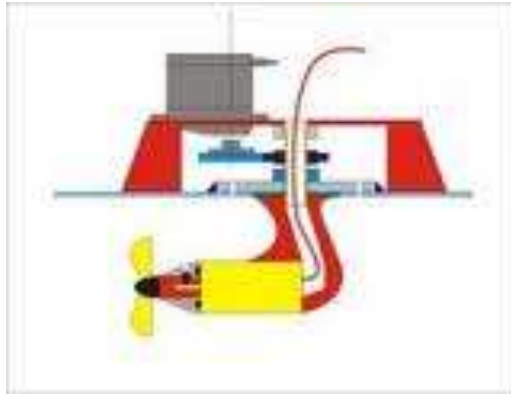
Gambar 2.8 Z-Drive system

(Sumber: http://ja.wikipedia.org/wiki/Z-Drive_side_view.PNG)

Sistem ini hampir sama dengan dengan *L-Drive system*. Bedanya *Z-drive system* mempunyai penempatan posisi *power engine* secara horizontal seperti pada umumnya kapal biasa. Hal ini dimaksudkan jika pemakaian *power engine* menggunakan mesin torak walaupun tidak sedikit elektrik engine menggunakan sistem ini. Dan juga sistem ini memiliki keuntungan dibanding *L-Drive system* yaitu ruang mesin mempunyai ketinggian rendah. Tetapi *Z-Drive system* memiliki *power lose* yang lebih besar karena memakai *gearbox* yang banyak.

2.5.3. Azipod system

Azipod system adalah bentuk *azimuth system* yang menempatkan *power engine* pada *outboard* yaitu didekat propeler, tak seperti *L-Drive system* dan *Z-drive system* yang *power enginenya* pada *inboard*. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi tenaga menjadi lebih besar karena tanpa adanya poros yang panjang dan *gearbox*. Sistem ini memiliki kekurangan yaitu memiliki desain yang besar sehingga kurang cocok digunakan pada kapal yang memiliki *draft* yang kecil. Dan juga sistem ini mahal harga dan perawatannya. Sistem ini biasa digunakan oleh kapal kapal pesiar yang besar.



Gambar 2.9 Azipod system

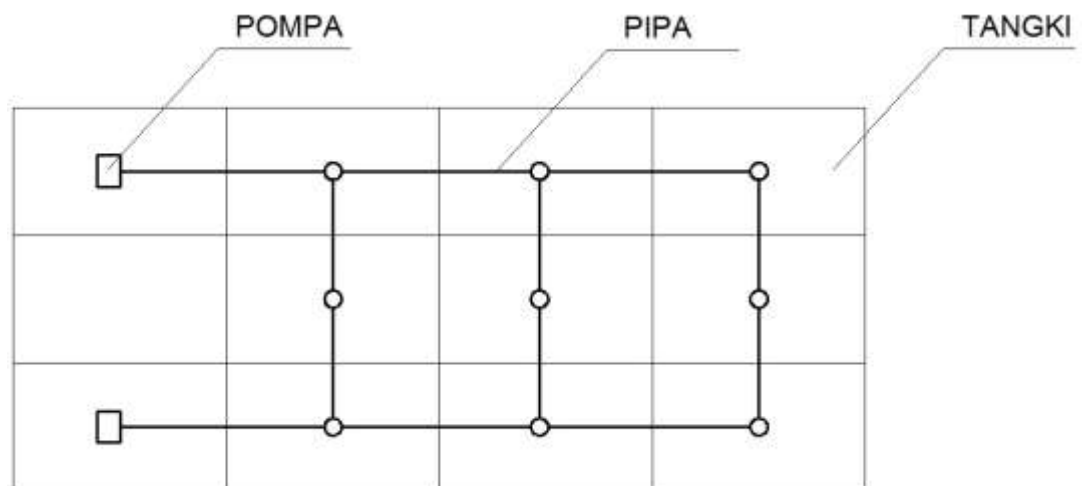
(Sumber: <http://www.acgroups.com>)

2.6 Sistem perpipaan

Sistem perpipaan berfungsi untuk mengantarkan atau mengalirkan suatu fluida dari tempat yang lebih rendah ke tempat tujuan sesuai dengan yang diinginkan dengan bantuan mesin atau pompa. Pada dasarnya penataan sistem perpipaan pada kapal tanker atau kapal pengangkut muatan cair ini tergantung dari fungsi kapal atau jenis muatan yang diangkut. Untuk kapal-kapal pengangkut minyak mentah, penataan pipanya jauh lebih sederhana dibanding dengan kapal tanker pengangkut minyak produk yang terdiri dari beberapa *grade*.

Pada kapal pengangkut minyak ada tiga sistem pipa yaitu:

1. *Ring line* , digunakan untuk tanker yang mengangkut 1 jenis muatan

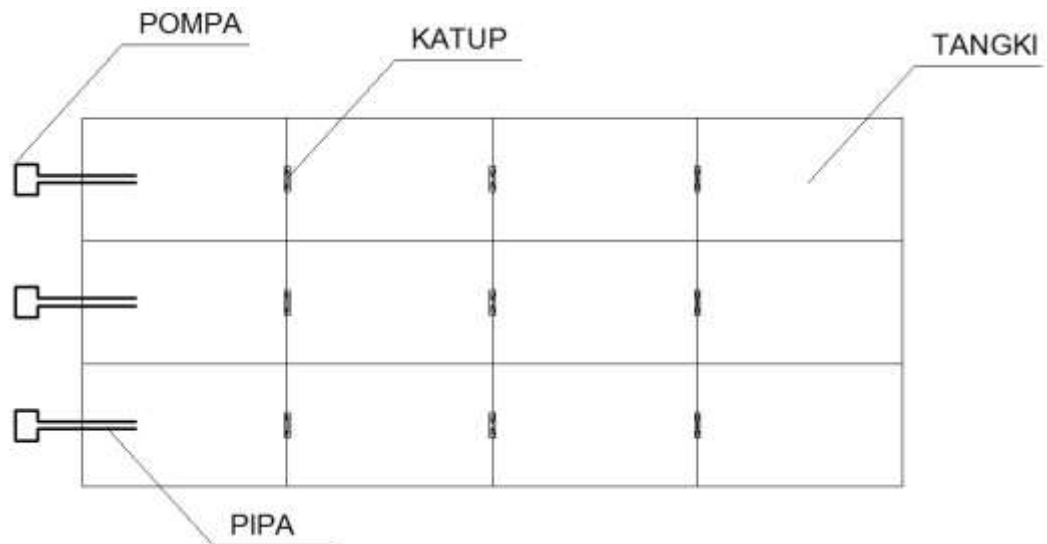


Gambar 2.10 Ring line system

2. *Direct line* , digunakan untuk tanker yang mengangkut lebih dari 1 jenis muatan. Sistem ini umumnya digunakan pada kapal-kapal pengangkut minyak mentah dengan ukuran sedang dan kapal pengangkut minyak produk sederhana. Pada sistem ini dibagi menjadi beberapa bagian, dimana tiap bagian dilayani oleh satu pipa, yang

mana masing-masing dihubungkan satu sama lain agar dapat digunakan secara bersamaan bila diperlukan.

3. *Free flow system*, digunakan untuk pengangkut *crude oil*, tanker normalnya akan *trim by stern* yang membuat muatan mengalir ke satu sisi (*stern*).



Gambar 2.11 *Free flow system*

2.7 Alat tambat *barge*

Alat tambat merupakan suatu sistem pada barge yang digunakan untuk berlabuh. Salah Beberapa kelengkapan peralatan tambat yang harus terdapat pada barge adalah :

2.7.1. Jangkar

Jangkar merupakan salah satu dari komponen kapal yang berguna untuk membatasi olah gerak kapal pada waktu labuh di perlabuhan agar kapal tetap dalam keadaannya meskipun mendapatkan tekanan oleh arus kapal, angin, gelombang dan untuk membantu dalam penambatan kapal pada saat diperlukan. Perlengkapan jangkar terdiri dari jangkar, rantai jangkar, lubang kabel jangkar, *stopper*, dan handling jangkar.

2.7.2. Rantai jangkar

Panjang rantai jangkar ditentukan dengan “*shackles*”. 1 *shackles* = 15 *fathoms* = 27,5 m 1 *fathoms* = 1,87 m Tipe rantai jangkar dibedakan menjadi :

- *Ordinary link, stud link, large link*, dan *end link*.
- *Shackle link, crown shackle* dan *kenter shackle*.
- *Swivels* ; dipasang untuk mencegah terlilitnya rantai satu dengan rantai lain.

2.7.3. Anchor winch

Alat yang dipakai untuk menarik jangkar disebut *windlass* atau *anchor winch*. Mesin-mesin untuk menarik kepelabuhan, untuk untuk menambatkan tali, dan untuk warping pada operasi penambatan disebut *warping winch* dan *warping capstan*. *Winches* dengan berbagai perencanaan *barrels* yang biasa digunakan sebagai peralatan tambat yang digunakan di dek sebuah kapal. Mesin derek *barrels* atau *drum* digunakan untuk menarik atau menggulung tali atau kabel yang mana kapal akan merapat ke pelabuhan atau daratan. Roda penggulung tali (*warp end*) digunakan ketika kapal akan merapat dengan menggunakan tali dengan cepat menuju ke daratan dan menggulung ke *warp end* (penggulung) dari mesin derek. Motor penggerak berhubungan dengan akhir bagian gigi transmisi, kopling dan dengan *warp end* (roda penggulung). Motor penggerak yang digunakan dapat dioperasikan secara bolak-balik, dengan kecepatan operasi yang telah ditentukan pada perencanaannya. *Windlass* dapat dioperasikan dengan energi listrik, energi sistem hidrolik, energi listrik dan hidrolik, energi uap.

2.7.4. Tali temali

Kabel pada kapal digunakan untuk :

- a. Menambatkan kapal dan mempertahankan posisi.
- b. *Towing*.
- c. *Cargo gear*.
- d. Memancing (*fishing*) dan *dredging*.

Kabel nomor a. dan b. biasanya terbuat dari tali (*rope*), sering disebut “*hawsers*”. Kabel nomor c. dan d pada umumnya adalah kabel baja (*steel cables*). Pada umumnya tali pada kapal terbuat dari serat sintetik (*synthetic fibres*). Beberapa jenis tali (*rope*) pada kapal dilapisi mantel (*mantle*), tujuannya untuk menjaga inti kabel.

2.7.5. Hawse pipe dan anchor pocket

Hawse pipe adalah lubang yang dilalui rantai jangkar, letaknya di lambung depan kapal (*forecastle*). Berfungsi untuk melindungi permukaan kulit lambung kapal dari gesekan rantai jangkar. Tidak semua desain kapal dilengkapi dengan *anchor pocket*, dengan adanya *anchor pocket* ini, jangkar akan terlihat rapi pada tempatnya.

2.7.6. Alat tambat

- *Chocks* : Berfungsi untuk mengarahkan tali dari dermaga, terletak dekat dengan *bulkwark*. *Chock* ada 2 yaitu paten (buka dan tutup) dan bisa diputar (*roller*)
- *Fairleads* : Bisa diputar, berfungsi untuk mengubah arah dari tali, terletak di geladak.
- *Bollards* : Berfungsi untuk mengikat tali
- *Mooring rings* : Hanya untuk kapal-kapal kecil.

2.8 Teori desain

Klasifikasi desain dibedakan menjadi dua berdasarkan latar belakangnya, pertama “invention” yang merupakan *eksploitasi* dari ide-ide asli untuk menciptakan suatu produk baru, yang kedua adalah “*innovation*” yaitu sebuah pembaruan atau rekayasa desain terhadap sebuah produk yang sudah ada (Atmoko, 2008). Proses mendesain kapal adalah proses berulang, yaitu seluruh perencanaan dan analisis dilakukan secara berulang demi mencapai hasil yang maksimal ketika desain tersebut dikembangkan. Desain ini digambarkan pada desain spiral. Dalam desain spiral membagi seluruh proses menjadi 4 tahapan yaitu: *concept design*, *preliminary design*, *contract design*, dan *detail design* (Evans, 1959). Secara umum spiral desain bisa dilihat pada gambar 2.12 pada halaman berikutnya.

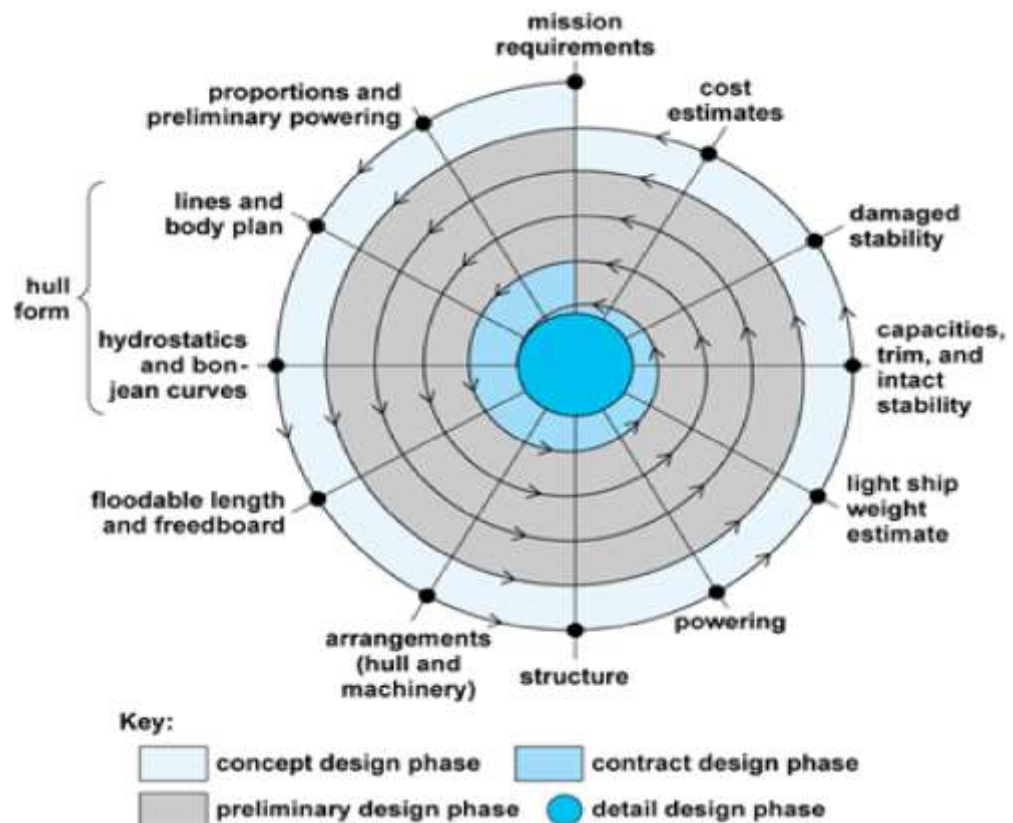
2.8.1. Desain statement

Desain statement merupakan tahap awal dari proses desain yang digunakan untuk mendefinisikan atau memberi gambaran tentang tujuan atau kegunaan dari kapal tersebut, hal ini juga sangat berguna untuk menentukan permintaan dari pemesan kapal (*owner requirement*) dan juga untuk mengarahkan *designer* kapal dalam menentukan pilihan yang rasional antara perbandingan desain selama proses desain. *Design Statement* terdiri dari beberapa bagian yaitu:

- a. Tujuan atau misi dari kapal tersebut
Menentukan tujuan atau misi dari kapal untuk mendapatkan gambaran awal tentang desain kapal tersebut
- b. Ukuran yang sesuai untuk kapal tersebut
Setelah tujuan dari kapal diketahui maka *designer* kemudian menterjemahkannya ke dalam bentuk perhitungan maupun dalam bentuk gambar dan selanjutnya yang paling optimum.

- c. Permintaan *owner* (*owner requirement*)
- d. Batasan desain

Menentukan batasan batasan yang harus dipenuhi dalam proses desain termasuk didalamnya pertimbangan kondisi lingkungan tempat beroperasi dari kapal tersebut.



Gambar 2.12 Spiral Desain (Evans, 1959)

2.8.2. Concept design

Concept design *Concept design* adalah tahap pertama dalam proses desain yang menterjemahkan *mission requirement* atau permintaan pemilik kapal ke dalam ketentuan-ketentuan dasar dari kapal yang akan direncanakan (Evans, 1959). Dibutuhkan TFS (*Technical Feasibility Study*) sehingga menghasilkan ukuran utama seperti panjang, lebar, tinggi, sarat, finnes dan *fullness power*, karakter lainnya dengan tujuan untuk memenuhi kecepatan, *range (endurance)*, kapasitas, *deadweight*.

Termasuk juga memperkirakan *preliminary lightship weight*, yang pada umumnya diambil dari rumus pendekatan, kurva maupun pengalaman-pengalaman. Hasil-hasil pada *concept design* digunakan untuk mendapatkan perkiraan biaya konstruksi. Langkah langkah pada *concept design* adalah sebagai berikut:

- a. Klasifikasi biaya untuk kapal baru dengan membandingkan terhadap beberapa kapal sejenis yang sudah ada.
- b. Mengidentifikasi semua perbandingan desain utama
- c. Memilih proses iterative yang akan menghasilkan desain yang mungkin
- d. Membuat ukuran yang sesuai (analisis ataupun subyektif) untuk desain
- e. Mengoptimasi ukuran utama kapal
- f. Mengoptimasi detail kapal

2.8.3. Preliminary design

Langkah kelanjutan dari *concept design* mengecek kembali ukuran dasar kapal yang dikaitkan dengan *performance* (Evans,1959). Pemeriksaan ulang terhadap panjang, lebar, daya mesin, *deadweight* yang diharapkan tidak banyak merubah pada tahap ini. Hasil diatas merupakan dasar dalam pengembangan rencana kontrak dan spesifikasi.

Tahap preliminary *design* ditandai dengan beberapa langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Melengkapi bentuk lambung kapal
- b. Pengecekan terhadap analisa detail struktur kapal
- c. Penyelesaian bagian interior kapal
- d. Perhitungan Stabilitas dan hidrostatik kapal
- e. Mengevaluasi kembali perhitungan tahanan, *powering* maupun *performance* kapal
- f. Perhitungan berat kapal secara detail dalam hubungannya dengan penentuan sarat dan trim kapal
- g. Perhitungan biaya secara menyeluruh dan detail

2.8.4. Contract design

Hasilnya sesuai dengan namanya dokumen kontrak pembuatan kapal. Langkah-langkahnya meliputi satu, dua atau lebih putaran dari desain spiral. Oleh karena itu pada langkah ini mungkin terjadi perbaikan hasil-hasil *preliminary design* (Evans,1959). Tahap merencanakan/menghitung lebih teliti *hull form* (bentuk badan kapal) dengan memperbaiki *lines plan*, tenaga penggerak dengan menggunakan *model test*, *seakeeping* dan *maneuvering* karakteristik, pengaruh jumlah *propeller* terhadap badan kapal, detail konstruksi, pemakaian jenis baja, jarak dan tipe gading. Pada tahap ini dibuat juga estimasi berat dan titik berat yang dihitung berdasarkan posisi dan berat

masing-masing item dari konstruksi. *General Arrangement detail* dibuat juga pada tahap ini. Kepastian kapasitas permesinan, bahan bakar, air tawar dan ruang-ruang akomodasi. Kemudian dibuat spesifikasi rencana standart kualitas dari bagian badan kapal serta peralatan. Juga uraian mengenai metode pengetesan dan percobaan sehingga akan didapatkan kepastian kondisi kapal yang sebaiknya.

2.8.5. Detail design

Detail design adalah tahap terakhir dari proses mendesain kapal. Pada tahap ini hasil dari tahapan sebelumnya dikembangkan menjadi gambar kerja yang detail (Evans,1959). Pada tahap *detail design* mencakup semua rencana dan perhitungan yang diperlukan untuk proses konstruksi dan operasional kapal. Bagian terbesar dari pekerjaan ini adalah produksi gambar kerja yang diperlukan untuk penggunaan mekanik yang membangun lambung dan berbagai unit mesin bantu dan mendorong lambung, fabrikasi, dan instalasi perpipaan dan kabel. Hasil dari tahapan ini adalah berisi petunjuk atau intruksi mengenai instalasi dan detail konstruksi pada *fitters ,welders, outfitters, metal workers, machinery vendors, pipe fitters*, dan lain-lainnya.

2.9 Metode perancangan kapal

Setelah melakukan tahap-tahapan desain di atas, langkah selanjutnya dalam proses desain kapal menentukan metode perancangan kapal. Secara umum metode dalam perancangan kapal adalah sebagai berikut:

2.9.1. Parent design approach

Parent design approach merupakan salah satu metode dalam mendesain kapal dengan cara perbandingan atau komparasi, yaitu dengan cara menganbil sebuah kapal yang dijadikan sebagai acuan kapal pembanding yang memiliki karakteristik yang sama dengan kapal yang akan dirancang. Dalam hal ini *designer* sudah mempunyai referensi kapal yang sama dengan kapal yang akan dirancang, dan terbukti mempunyai *performance* yang bagus.

Keuntungan dalam *parent design approach* adalah :

- a. Dapat mendesain kapal lebih cepat, karena sudah ada acuan kapal sehingga tinggal memodifikasi saja.
- b. *Performance* kapal terbukti (*stabilitas, motion, reistance*)

2.9.2. Trend curve approach

Dalam proses perancangan kapal terdapat beberapa metode salah satunya yaitu *Trend Curve approach* atau biasanya disebut dengan metode statistik dengan memakai regresi dari beberapa kapal pembanding untuk menentukan ukuran utama awal. Dalam metode ini ukuran beberapa kapal pembanding dikomparasi dimana variabel dihubungkan kemudian ditarik suatu rumusan yang berlaku terhadap kapal yang akan dirancang.

2.9.3. Iteratif design approach

Iteratif desain adalah sebuah metodologi desain kapal yang berdasarkan pada proses siklus dari *prototyping*, *testing*, dan *analyzing*.. Perubahan dan perbaikan akan dilakukan berdasarkan hasil pengujian iterasi terbaru sebuah desain. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan fungsionalitas dari sebuah desain yang sudah ada. Proses desain kapal memiliki sifat iteratif yang paling umum digambarkan oleh spiral desain yang mencerminkan desain metodologi dan strategi. Biasanya metode ini digunakan pada orang-orang tertentu saja (sudah berpengalaman dengan menggunakan *knowledge*).

2.9.4. Parametric design approach

Parametric design approach adalah metode yang digunakan dalam mendesain kapal dengan parameter misalnya (L, B, T, Cb, LCB dll) sebagai *main dimension* yang merupakan hasil regresi dari beberapa kapal pembanding, kemudian dihitung hambatannya (R_t), merancang baling-baling, perhitungan perkiraan daya motor induk, perhitungan jumlah ABK, perhitungan titik berat, trim, dan lain-lain.

2.9.5. Optimisation design approach

Metode optimasi digunakan untuk menentukan ukuran utama kapal yang optimum serta kebutuhan daya motor penggeraknya pada tahap *basic design*. Dalam hal ini, disain yang optimum dicari dengan menemukan disain yang akan meminimalkan *economic cost of transport* (ECT). Adapun parameter dari optimasi ini adalah hukum fisika, kapasitas ruang muat, stabilitas, *freeboard*, *trim*, dan harga kapal.

2.10 Tinjauan teknis perancangan kapal

Dalam istilah dunia perkapalan seorang *naval architect* harus mampu menerjemahkan permintaan pemilik kapal (*owner requirement*) ke dalam bentuk gambar, spesifikasi dan data lainnya untuk membangun kapal. Dalam mendesain sebuah kapal ada beberapa tahap, yaitu :

a. Menentukan ukuran utama kapal awal

- Lpp (*Length between perpendicular*)

Panjang yang di ukur antara dua garis tegak yaitu, jarak horizontal antara garis tegak buritan (*After Perpendicular/ AP*) dan garis tegak haluan (*Fore Perpendicular/ FP*).

- Loa (*Length Overall*)

Panjang seluruhnya, yaitu jarak horizontal yang di ukur dari titik terluar depan sampai titik terluar belakang kapal

- B_m (*Breadth Moulded*)

Yaitu lebar terbesar diukur pada bidang tengah kapal diantara dua sisi dalam kulit kapal untuk kapal-kapal baja atau kapal yang terbuat dari logam lainnya. Untuk kulit kapal yang terbuat dari kayu atau bahan bukan logam lainnya, diukur jarak antara dua sisi terluar kulit kapal.

- H (*Height*)

Yaitu jarak tegak yang diukur pada bidang tengah kapal, dari atas lunas sampai sisi atas balok geladak disisi kapal.

- T (*Draught*)

Yaitu jarak tegak yang diukur dari sisi atas lunas sampai ke permukaan air.

- DWT (*Deadweight Ton*)

Yaitu berat dalam ton (1000 kilogram) dari muatan, perbekalan, bahan bakar, air tawar, penumpang dan awak kapal yang diangkut oleh kapal pada waktu dimuati sampai garis muat musim panas maksimum.

- Vs (*Service Speed*)

Ini adalah kecepatan dinas, yaitu kecepatan rata-rata yang dicapai dalam serangkaian dinas pelayaran yang telah dilakukan suatu kapal. Kecepatan ini juga dapat diukur pada saat badan kapal dibawah permukaan air dalam keadaan bersih, dimuati sampai dengan sarat penuh, motor penggerak bekerja pada keadaan daya rata-rata dan cuaca normal.

b. Perhitungan hambatan kapal

Perhitungan hambatan tongkang dibagi menjadi dua komponen yaitu Tahanan Air dan Tahanan Angin (Henschke, 1978).

- Nilai hambatan Air didapat dari rumus:

$$W = f.s.V^{1.83} + P.Fx.$$

- Nilai hambatan Angin didapat dari rumus:

$$W = 0,0041 \cdot (0,3A_1 + A_2) \cdot V_a^2$$

c. Perhitungan daya mesin induk

- Perhitungan power mesin

$$EHP = R_t \cdot V_s$$

- Perhitungan daya mesin BHP

$$BHP = DHP + \{ (\text{koreksi daerah pelayaran} \times SHP) \}$$

d. Perhitungan stabilitas utuh (*intact stability*)

e. Perhitungan massa dan titik pusat massa DWT

DWT itu terdiri dari payload atau muatan bersih, *consummable* dan *crew*. *Payload* berharga 90% dari DWT, *consummable* terdiri dari bahan bakar (*fuel oils*), minyak lumas (*lubrication oils*), minyak diesel (*diesel oils*), air tawar (*fresh water*) dan barang bawaan (*provision and store*). Setelah berat diketahui maka dilakukan perhitungan titik berat DWT untuk mencari harga KG.

f. Perhitungan massa dan titik pusat massa LWT

LWT terdiri dari berat badan kapal, peralatan dan perlengkapan dan permesinan atau kata lain berat kapal kosong tanpa muatan dan *consummable*. Untuk menghitung berat baja kapal, peralatan dan perlengkapan serta permesinaan ada beberapa pendekatan semisal menurut Watson, Schneekluth, Parson Untuk perhitungan berat baja lambung Schneekluth membagi kedalam beberapa bagian antara lain berat baja lambung, berat bangunan atas dan berat rumah geladak.

g. Perhitungan berat dan titik berat gabungan LWT+DWT

h. Perhitungan kapasitas ruang muat

Kapasitas ruang muat diartikan sebagai tempat peletakan muatan di bawah palkah.

i. Perhitungan trim

Trim dapat didefinisikan sebagai gerakan kapal yang mengakibatkan tidak terjadinya *even keel* atau gerakan kapal mengelilingi sumbu Y secara tepatnya. Trim ini terjadi akibat dari tidak meratanya momen statis dari penyebaran gaya berat. Trim dibedakan menjadi dua yaitu trim haluan dan trim buritan. Trim haluan yaitu sarat haluan lebih tinggi daripada sarat buritan sedangkan trim buritan kebalikan dari trim haluan.

j. Perhitungan freeboard

Freeboard adalah hasil pengurangan tinggi kapal dengan sarat kapal dimana tinggi kapal termasuk tebal kulit dan lapisan kayu jika ada, sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas. Panjang *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded*. Untuk memilih panjang *freeboard*, pilih yang terpanjang antara Lpp dan 96% LWL pada 85% H. Lebar *freeboard* adalah lebar *moulded* kapal pada *midship* (Bm). Dan tinggi *freeboard* adalah tinggi yang diukur pada *midship* dari bagian atas *keel* sampai pada bagian atas *freeboard deck beam* pada sisi kapal ditambah dengan tebal pelat senta bila geladak tanpa penutup kayu. *Freeboard* memiliki tujuan untuk menjaga keselamatan penumpang, *crew*, muatan dan kapal itu sendiri. Bila kapal memiliki *freeboard* tinggi maka daya apung cadangan akan besar sehingga kapal memiliki sisa pengapungan apabila mengalami kerusakan.

k. Perhitungan tonnase kapal

Perhitungan *tonnage* kapal adalah cara tradisional untuk menentukan ukuran besar kapal. Dalam perhitungan *tonnage* kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu *Gross Tonnage* (GT) dan *Net Tonnage* (NT). *Gross Tonnage* (GT) adalah kapasitas dari ruangan-ruangan yang ada dalam badan/lambung kapal dan ruangan tertutup diatas geladak yang tersedia untuk muatan, gudang, bahan bakar, penumpang dan *crew*. Sedangkan *Net Tonnage* (NT) adalah GT dikurangi ruangan-ruangan yang digunakan untuk akomodasi kapten, perwira, ABK pangkat dibawahnya, peralatan navigasi dan permesinan penggerak kapal.

l. Perhitungan biaya pembangunan kapal

Biaya Investasi dapat diartikan sebagai biaya pembangunan kapal yang terdiri dari biaya material untuk struktur bangunan kapal, biaya peralatan, biaya permesinan dan biaya pekerja, *model cost*, *trial cost*, asuransi dan lain-lain. Perhitungan biaya pembangunan kapal diperoleh berdasarkan regresi berat baja dengan harga baja per ton (Watson, 1998).

m. Parameter optimisasi

Setelah tiap-tiap perhitungan didapatkan, maka langkah selanjutnya memberikan batasan untuk mencari ukuran utama agar ukuran utama yang kita pilih sudah masuk constrain/batasan yang telah ditentukan. Adapun batasan–batasan untuk mencari ukuran utama yang optimal sebagai berikut:

- Batasan displacement
- Batasan kapasitas ruang muat
- Batasan stabilitas
- Batasan freeboard
- Batasan trim
- Batasan harga

n. Desain Rencana Garis

Gambar rencana garis (*Lines Plan*) adalah suatu gambar yang terdiri dari bentuk lengkung potongan badan kapal, baik potongan vertikal memanjang (*Sheer Plan*), atau potongan secara horizontal memanjang (*Half Breadth Plan*), maupun potongan secara melintang badan kapal (*Body Plan*).

Potongan badan kapal :

▪ *Sheer Plan*

Gambar proyeksi dari bentuk badan kapal secara memanjang, jika kapal tersebut dipotong secara memanjang sesuai dengan pembagian *Buttock Line* yang telah ditentukan.

▪ *Half Breadth Plan*

Gambar proyeksi dari badan kapal secara memanjang, jika kapal tersebut dipotong secara horizontal sesuai dengan pembagian *Water Line* yang telah ditentukan.

▪ *Body Plan*

Gambar proyeksi dari bentuk badan kapal secara melintang, jika kapal tersebut dipotong secara melintang sesuai dengan pembagian *station* yang telah ditentukan.

o. Desain Rencana Umum

Rencana umum atau *general arrangement* dari suatu kapal dapat didefinisikan sebagai penentuan dari ruangan kapal untuk segala kegiatan dan peralatan yang dibutuhkan sesuai dengan letak dan jalan untuk mencapai ruangan tersebut. Sehingga dari batasan tersebut, ada 4 langkah yang harus dikerjakan, yaitu :

- Menetapkan ruangan utama.
- Menentukan batas-batas dari setiap ruangan.

- Memilih dan menempatkan perlengkapan dan peralatan dalam batas dari ruangan tersebut.
- Menyediakan jalan untuk menuju ruangan tersebut.

2.11 Metode optimisasi

Optimisasi merupakan suatu proses untuk mendapatkan satu hasil yang relatif lebih baik dari beberapa kemungkinan hasil yang memenuhi syarat berdasarkan batasan-batasan tertentu (Setijoprajudo, 1999). Optimisasi mencerminkan perilaku para pelaku ekonomi yang rasional, artinya sebagai konsumen ia akan selalu memaksimalkan kepuasannya dan sebagai produsen ia akan memaksimalkan keuntungannya atau meminimumkan kerugiannya. Pada dasarnya optimisasi adalah mencari titik maksimum atau minimum dari suatu fungsi. Caranya dengan mencari titik stasioner baik untuk fungsi 1 variabel maupun untuk fungsi dengan n variabel.

- Misalnya : fungsi tujuan dengan satu variabel : $f(X_1)$
 fungsi tujuan dengan n variabel : $f(X_1, X_2, \dots, X_n)$

Dalam proses optimisasi selalu melibatkan hal-hal dibawah ini (Setijoprajudo, 1999), yaitu :

- a. Variabel adalah harga yang akan dicari dalam proses optimisasi.
 Contoh: L, B, H, T, Diameter propeller, Ae/Ao dll
 Jenis – jenis variabel adalah :
 - Variabel tak bebas (*dependent variables*), yaitu variabel yang tidak dapat berdiri sendiri, melainkan berhubungan satu dengan yang lainnya.
 - Variabel bebas, yaitu variabel yang dapat berdiri sendiri
 - Variabel tunggal (*uni variable*)
 - Variabel ganda (*multi variables*)
 - Variabel kontinyu (*continous variabel*) yaitu variabel yang dapat mempunyai harga pada daerah yang sudah ditentukan
 - Variabel tertentu (*discrete variables*) yaitu variabel yang dihitung untuk kondisi– kondisi tertentu
- b. Parameter adalah harga yang tidak berubah besarnya selama satu kali proses optimisasi karena syarat syarat tertentu (misal dari peraturan suatu ketetapan ketetapan rule internasional lainnya) atau dapat juga suatu variable yang diberi harga tertentu. Harga tersebut dapat diubah setelah satu kali proses optimisasi untuk menyelidiki kemungkinan terdapatnya hasil yang lebih baik.

- c. Konstanta adalah harga yang tidak berubah besarnya selama proses optimisasi berlangsung tuntas.

Contoh: Berat jenis air, gravitasi bumi

- d. Batasan adalah harga-harga batas yang telah ditentukan baik perencanaan, pemesan, biro klasifikasi, peraturan keselamatan pelayaran, kondisi perairan, maupun oleh persyaratan-persyaratan lainnya.

Batasan yang merupakan persamaan biasanya ditulis:

$$h(x) = 0$$

Bentuk umum :

$$G_{\min}(x) < g(x) < g_{\max}(x)$$

Bentuk standar:

$$\text{Untuk } g_{\min} > 0, \text{ maka } G(x) = \frac{g(x)}{g_{\min}(x)} - 1 > 0$$

Contoh: $2,2 < H < 3,5$ m merupakan batasan yang diberikan oleh pemesan yang merupakan batas minimum dan batas maksimum tinggi kapal yang dapat bersandar pada dermaga pemesan.

- e. Fungsi Obyektif adalah hubungan antara semua atau beberapa variable serta parameter yang harganya akan dioptimalkan. Fungsi tersebut dapat berupa linear atau kompleks serta bisa juga gabungan dari beberapa fungsi obyektif yang lain.

Contoh : akan dibangun kapal dengan biaya material paling murah. Maka biaya disini berfungsi sebagai fungsi obyektif yang diminimumkan.

Urutan dalam pelaksanaan proses optimisasi dapat diringkas sebagai berikut :

1. Mencari bentuk matematis.
 - a. Menentukan variabel dan parameter
 - b. Mencari hubungan antar variabel dan parameter.
2. Mencari batasan untuk variabel.
3. Memilih fungsi obyektif yang diinginkan

2.11.1. Metode search

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana. Spesifikasi metode ini adalah:

- Hanya berlaku untuk satu variabel
- Fungsi tidak perlu harus diturunkan
- Fungsi harus mempunyai harga nyata

Beberapa contoh penggunaan metode ini beserta keunggulan dan kekurangannya adalah:

1. *Exhaustive search*

- a. Keunggulan : Dapat digunakan secara luas untuk bermacam – macam bentuk fungsi, baik unimodal maupun multimodal. Dapat memperkirakan titik maksimum maupun minimum secara bersamaan.
- b. Kelemahan : Proses berjalan lambat, karena titik penyelidikan harus banyak untuk mendapatkan hasil yang akurat. Untuk fungsi dengan multimodal, hasil yang didapat relatif kurang akurat.

2. *Bisection search*

- a. Keunggulan : Merupakan suatu proses iterasi. Fungsi tidak harus kontinyu. Sangat efektif untuk unimodal.
- b. Kelemahan : Hanya untuk fungsi unimodal.

3. *Two point equal interval search*

- a. Keunggulan : Lebih efektif daripada *exhaustive search*
- b. Kelemahan : Lebih jelek dibandingkan *bisection search*

4. *Golden section search*

- a. Keunggulan : Metode *search* terbaik
- b. Kelemahan : Hanya untuk unimodal

2.11.2. Program linear

Dalam perumusan program linear dilakukan beberapa asumsi yaitu :

1. Asumsi proporsional

Asumsi yang menyatakan bahwa apabila a_{ij} merupakan satuan bahan dasar i yang diperlukan dalam kegiatan j untuk memperoleh satu satuan hasil campuran, maka jika kita ingin mendapatkan x_j satuan hasil campuran ($x_j > 0$) dalam kegiatan j memerlukan $a_{ij}x_j$ satuan bahan dasar.

Contoh : 1 ton Hi-phospate membutuhkan 2 ton bahan dasar I

2. Asumsi penjumlahan

Asumsi yang menyatakan bahwa jumlah seluruh bahan yang diperlukan sama dengan jumlah seluruh kebutuhan bahan dasar untuk semua kegiatan.

Contoh : kegiatan 1 : 1 ton Hi-phospate membutuhkan 2 ton bahan dasar I

kegiatan 2 : 1 ton Lo-phospate dan X_2 ton Lo-phospate dibutuhkan $(2X_1+2X_2)$ ton bahan dasar I, dimana $X_1 > 0$, $X_2 > 0$

3. Asumsi fungsi kontinyu

Asumsi yang menyatakan bahwa tiap variabel mempunyai harga nyata dalam fungsi yang kontinyu pada daerah yang dibatasi.

2.11.3. Program nonlinear

Dalam mempelajari persoalan–persoalan non linear, ada tiga metode yang sering dan mudah dalam pemakainya serta hasilnya relatif lebih akurat. Prinsip kerja dari ketiga teori tersebut adalah memakai prinsip *searching* dengan menggunakan cara *trial* dan *error*. Ketiga teori tersebut adalah :

1. Metode Hooke dan Jevess

Metode ini mempunyai dua pilihan cara penyelidikan yang memungkinkan untuk mempercepat penyelidikan atau pencarian harga optimum pada daerah suatu fungsi.

Dua cara tersebut adalah :

- *Local pattern search* : pencarian harga optimum secara lokal biasanya ke arah empat penjuru pada daerah penyelidikan
- *Global pattern search moves* : gerakan penyelidikan secara global setelah menemukan 2 titik dasar lokal search dengan langkah 2 kali langkah yang telah ditetapkan terlebih dahulu

2. Metode Nelder dan Mead

Metode ini merupakan metode pertama yang memperkenalkan penggunaan $(n+1)$ *cornered shape* (bentuk sudut) untuk n variabel pada persoalan – persoalan optimisasi dalam menyelidiki daerah penyelidikan. Sebagai contoh misalnya bila kita memiliki 2 variabel maka harus digunakan bentuk bidang segitiga, jika kita memiliki 4 variabel, maka harus dipakai bentuk segilima. Bentuk sudut tersebut dinamakan bentuk simplek yang akan digerakkan dalam daerah penyelidikan menuju ke titik optimum dengan cara mengganti harga koordinat titik sudut bentuk tersebut dengan harga koordinat yang baru dari titik sudut bentuk tersebut juga.

Proses pelaksanaan metode ini melibatkan 3 operasi vektor, yaitu :

- *Reflection* : melaksanakan penyelidikan dengan mencerminkan bentuk simplek sebelumnya sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses.
- *Expansion* : melakukan penyelidikan dengan mengembangkan bentuk simplek sebelumnya menjadi p kali sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses. Pada operasi vektor ini terdapat koefisien *expansion*.

- *Contraction*

Melakukan penyelidikan dengan memperbesar atau mengurangi bentuk simplek sebelumnya sepanjang arah yang berhasil atau memenuhi batasan untuk mempercepat proses. Pada operasi vektor ini terdapat koefisien *contraction* (c).

$$0 \leq c = \frac{\text{jarak antara } X_c \text{ ke } X_o}{\text{jarak antar } X_h \text{ ke } X_o} \leq 1$$

3. Metode external penalty function

Untuk mendapatkan harga optimum dari $F(x)$ dengan sebuah batasan, maka dapat digunakan cara yaitu dengan menganalisa harga $F(x)$ tersebut apakah keluar dari batasan atau tidak. Ada 2 macam *external penalty technique* yang dikembangkan oleh Zangwill yang menggunakan sebuah *artificial objective function* dengan menambahkan satu *penalty term* pada fungsi aslinya yaitu :

$$P(x, r_k) = F(x) - r_k \sum_{j=1}^m \min(g_j(x), 0)$$

$$P(x, r_k) = F(x) + r_k \sum_{j=1}^m \min(g_j(x), 0)^2$$

2.11.4. Program separable

Adalah suatu metode untuk memecahkan atau membagi suatu persoalan non linear, dimana fungsi obyektifnya atau batasannya atau keduanya non linear menjadi suatu persoalan yang linear seluruhnya dengan memakai metode perkiraan linear putus bersambung yaitu membagi fungsi non linear tersebut ke dalam beberapa segmen fungsi linear. Sebagai contoh adalah biaya produksi yang menurun dan pendapatan bersih yang meningkat.

Spesifikasi program separabel adalah

- Fungsi obyektif atau batasan atau kedua-duanya non linear
- Fungsi harus kontinyu dengan perubahan gradien yang kecil
- Hanya digunakan untuk menganalisa persoalan nyata
- Fungsi obyektif atau batasan merupakan gabungan dari fungsi - fungsi

2.11.5. Klasifikasi permasalahan optimisasi

Terdapat lebih dari 4000 solusi algoritma dalam berbagai masalah optimisasi (Arsham, 2001). Solusi algoritma yang telah dikenal dalam bentuk program matematis dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- *Linear Program*

Linear Programming berhubungan dengan masalah optimisasi dimana baik fungsi tujuan yang ingin dioptimalkan dan semua fungsi pembatasnya adalah linier terhadap variabel keputusan.

- *Quadratic Program*

Quadratic Program merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk kuadrat.

- *Convex Program*

Merupakan kelas permasalahan optimisasi dengan fungsi obyektif berbentuk konveks.

- *Separable Program*

Merupakan kasus khusus dari *convex program* dimana fungsi obyektif dan fungsi pembatasnya merupakan fungsi yang terpisah.

- *Fractional Program*

Dalam klasifikasi ini fungsi obyektif dalam bentuk rasio dari dua fungsi.

- *Global Optimization*

Tujuan dari optimisasi global adalah untuk menemukan solusi terbaik dari model keputusan bila terdapat multi solusi local.

- *Non Convex Program*

Meliputi semua *non linear program* yang tidak memenuhi asumsi konveksitas.

Optimisasi dapat dijelaskan sebagai proses mencari kondisi yang memberikan nilai maksimum dari sebuah fungsi (Rao, 1996). Optimisasi adalah tindakan untuk mendapatkan hasil terbaik atas suatu keadaan tertentu yang diberikan. Sebuah optimisasi atau juga disebut pemrograman masalah matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Find} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \text{ sehingga meminimalkan nilai } f(x)$$

$$G_j(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$ij(x) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Dimana x adalah *design* vector dengan x_1, x_2, \dots, x_n adalah *design* variable, $f(x)$ adalah *objective function* dan $g_j(x)$ dan $ij(x)$ adalah konstrain pertidaksamaan dan persamaan. Masalah diatas disebut *constrained optimization problem*.

Program optimisasi dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik ukuran utama kapal. Fungsi obyektif yang dipakai disini adalah meminimalkan biaya material baja kapal. Program optimisasi ini dijalankan dengan bantuan *software microsoft excel* dimana pemecahan masalahnya (*solver*) memakai metode *generalized reduced gradient* (GRG). Berdasarkan beberapa klasifikasi masalah optimisasi, metode *generalized reduced gradient*

(GRG) merupakan pemrograman non linier dengan konstrain. Secara umum langka-langkah metode ini adalah sebagai berikut:

- Menentukan *design variable* dan *state variable* awal tersebut.
- Menghitung GRG pada variabel awal tersebut.
- $GR = \nabla yf - \{[D]-1[C]^T\}zf$

Dimana:

$$\nabla yf = \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial y_1} \\ \frac{\partial f}{\partial y_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial y_{n-1}} \end{Bmatrix} \quad \nabla zf = \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial z_1} \\ \frac{\partial f}{\partial z_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial z_{n-1}} \end{Bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial y_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial g_{m+1}}{\partial y_1} & \dots & \frac{\partial g_{m+1}}{\partial y_{n-1}} \end{bmatrix} \quad [D] = \begin{bmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial z_{n-1}} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial g_{m+1}}{\partial z_1} & \dots & \frac{\partial g_{m+1}}{\partial z_{n-1}} \end{bmatrix}$$

- Memeriksa konvergensi dengan melihat nilai GR
- Menentukan arah pencarian, salah satunya adalah dengan *steepest descent methode*, dimana $S = -GR$
- Mencari panjang langkah optimum λ serta menentukan nilai X baru, dimana:

$$X_{baru} = \begin{bmatrix} Y_{lama} + dY \\ Z_{lama} + dZ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{lama} + \lambda * Y \\ Z_{lama} + \lambda * Z \end{bmatrix}$$

- Memeriksa *feasibilitas* dengan menghitung *variable* baru pada konstain, kemudian merubah state variable bila diperlukan. Kemudian mengulang lagi dari awal (iterasi).

BAB 3. TINJAUAN DAERAH

3.1. Sekilas tentang PT. Pelabuhan Indonesia III

PT. Pelabuhan Indonesia III (Persero) untuk selanjutnya disebut PT. PELINDO III, adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dalam sektor perhubungan. Tugas dan tanggung jawab perusahaan ini adalah mengelola 43 Pelabuhan Umum pada tujuh wilayah provinsi Indonesia, yaitu Jawa Timur, Jawa Tengah, Bali, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur, serta memiliki 7 anak perusahaan.

Sejarah PT PELINDO III (Persero) terbagi menjadi beberapa fase penting berikut ini:

- a. Perseroan Terbatas yang pada awal berdirinya adalah sebuah Perusahaan Negara yang pendiriannya dituangkan dalam PP No. 19 Tahun 1960.
- b. Selanjutnya pada kurun waktu 1969-1983 bentuk Perusahaan Negara diubah dengan nama Badan Pengusahaan Pelabuhan (BPP) berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 1 Tahun 1969.
- c. Kemudian pada kurun waktu tahun 1983-1992, untuk membedakan pengelolaan Pelabuhan Umum yang diusahakan dan tidak diusahakan, diubah menjadi Perusahaan Umum (Perum) Pelabuhan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 1983 dan Peraturan Pemerintah Nomor 6 Tahun 1985.
- d. Seiring pesatnya perkembangan dunia usaha, maka status Perum diubah menjadi Perseroan pada tahun 1992 dan tertuang dalam Akta Notaris Imas Fatimah, SH Nomor 5 Tanggal 1 Desember 1992.
- e. Surat dari Kementerian Perhubungan, Dirjen Perhubungan Laut yang diterbitkan bulan Februari 2011 menjelaskan tentang penunjukan PT PELINDO III (Persero) sebagai Badan Usaha Pelabuhan.
- f. Perubahan anggaran Dasar Desember 2011 tentang Kepmen BUMN 236.

PT PELINDO III (Persero) yang menjalankan bisnis inti sebagai penyedia fasilitas jasa kepelabuhanan, memiliki peran kunci untuk menjamin kelangsungan dan kelancaran angkutan laut. Dengan tersedianya prasarana transportasi laut yang memadai, PT PELINDO III (Persero) mampu menggerakkan dan menggairahkan kegiatan ekonomi Negara dan masyarakat. Berdasarkan UU No. 17 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Pelabuhan Umum, PT

PELINDO III (Persero), bertanggung jawab atas keselamatan pelayaran, penyelenggaraan pelabuhan, angkutan perairan dan lingkungan maritim. Dengan demikian status Pelindo bukan lagi sebagai “*regulator*” melainkan “*operator*” Pelabuhan, yang secara otomatis mengubah bisnis Pelindo dari *Port Operator* menjadi *Terminal Operator*.

PT PELINDO III (Persero) mempunyai visi dan misi sebagai berikut :

- Visi Perusahaan
Berkomitmen Memacu Integrasi Logistik dengan Layanan Jasa Pelabuhan yang Prima.
- Misi Perusahaan
 - Menjamin penyediaan jasa pelayanan prima melampaui standar yang berlaku secara konsisten.
 - Memacu kesinambungan daya saing industri nasional melalui biaya logistic yang kompetitif.
 - Memenuhi harapan semua *stakeholder* melalui prinsip kesetaraan dan tata kelola perusahaan yang baik.
 - Menjadi SDM yang berkompeten, berkinerja handal, dan berpekeri luhur.
 - Mendukung perolehan devisa negara dengan memperlancar arus perdagangan.

3.1.1. Tanjung Perak

Secara geografis pelabuhan ini berada di Selat Madura sebelah utara Kota Surabaya, tepatnya pada posisi 112° 32' 22" BT dan 07° 11' 54" LS. Pelabuhan Tanjung Perak merupakan pelabuhan utama primer terbesar kedua di Indonesia setelah Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta dan menjadi pusat kolektor dan distributor barang dari dan ke Provinsi Jawa Timur serta Indonesia bagian Timur.

Alur pelayaran utama Tanjung Perak adalah alur pelayaran barat (*west navigational channel*) yang kondisi teknisnya mempunyai panjang 22,5 mil, lebar maksimum 100 m, kedalaman air 9,7 m sampai dengan 12 m. Dengan dilengkapi 24 buah *buoy* dan 1 unit stasiun pandu (Karang Jemuang). Seiring dengan perkembangan ukuran kapal maka kedalaman air pada alur akan direncanakan menjadi rata-rata 12 m dengan lebar alur menjadi 200 m sehingga aman untuk dilalui dua jalur pelayaran kapal (*two way traffic*). Pemanduan dan penundaan guna menjamin keselamatan pelayaran bagi kapal-kapal yang akan masuk dan keluar di Pelabuhan Tanjung Perak dilayani 24 jam setiap hari oleh pelayanan pemanduan dan penundaan.

3.1.2. Tanjung Emas Semarang

Pelabuhan Tanjung Emas adalah sebuah pelabuhan di Semarang Jawa Tengah. Pelabuhan Tanjung Emas terletak pada posisi lintang $06^{\circ} 57' 00''$ LS dan bujur $110^{\circ} 24' 00''$ BT. Pelabuhan Tanjung Emas (terkadang ada yang menulis Tanjung Mas), dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) sejak tahun 1985. Pelabuhan ini merupakan satu-satunya pelabuhan di Kota Semarang. Pelabuhan Tanjung Emas ke arah Tugu Muda Semarang berjarak sekitar 5 km atau kira-kira 30 menit dengan kendaraan sepeda motor/mobil.

Pelabuhan Tanjung Emas terletak di pantai utara Jawa Tengah. Menurut catatan sejarah, pelabuhan ini berkembang sejak abad ke-16. Sebelumnya Pelabuhan Semarang berada di bukit Simongan, daerah ini sekarang dikenal dengan Gedong Batu di mana terdapat Kelenteng Sam Po Kong. Secara geologis lokasi pelabuhan Semarang kuno kurang menguntungkan. Jumlah pasir yang amat banyak dan endapan lumpur yang berlangsung terus-menerus, menyebabkan sungai yang menghubungkan kota dengan pelabuhan tidak dapat dilayari. Bahkan pada muara sungai terbentuk dataran pasir yang sangat menghambat pelayaran dari dan ke kota. Untuk mengatasi kondisi geologi yang tidak menguntungkan bagi kapal-kapal besar itu pada tahun 1868, beberapa perusahaan dagang melakukan pengerukan lumpur yang pertama kali. Selanjutnya dibuat juga kanal pelabuhan baru, bernama *Nieuwe Havenkanaal*, atau *Kali Baroe*, yang pembuatannya berlangsung pada tahun 1872. Melalui kanal ini, perahu-perahu dapat berlayar sampai ke pusat kota untuk menurunkan dan memuat barang-barang.

Setelah pembangunan Kali Baru, banyak kapal dari luar negeri, baik kapal uap maupun kapal layar, berdatangan di pelabuhan Semarang. Selama tahun 1910 tercatat 985 kapal uap dan 38 kapal layar yang berlabuh di Semarang. Mereka berasal dari berbagai negeri yaitu Inggris, Belanda, Hindia Belanda, Jerman, Denmark, Jepang, Austria, Swedia, Norwegia, dan Perancis. Di area pelabuhan Tanjung Emas ini terdapat sebuah Mercusuar, namanya mercusuar Willem 3. Mercusuar yang terletak di kawasan pelabuhan Tanjung Emas ini merupakan satu-satunya mercusuar di Jawa Tengah. Menurut catatan inskripsi pada bangunan ini tercatat dibangun pada tahun 1884, dibangun oleh Pemerintah Kolonial Belanda dalam rangka menjadikan kota Semarang sebagai kota pelabuhan dan dagang, pada waktu itu sebagai sarana untuk ekspor gula ke luar negeri. Pelabuhan Semarang dikembangkan untuk prasarana ekspor hasil bumi (terutama gula) oleh pemerintah kolonial.

Pada masa itu menjelang akhir abad ke-19, Jawa telah menjadi penghasil gula nomor dua di dunia setelah Kuba.

Walaupun sudah ada penambahan fasilitas pelabuhan Nusantara, Pelabuhan Semarang masih terbatas untuk disandari kapal-kapal berukuran besar. Pada masa itu, yang bisa merapat/bersandar di Dermaga Nusantara maksimum kapal-kapal dengan draft = 5 m atau berukuran ± 3.500 Ton bobot mati (Dwt). Sedang kapal-kapal dengan draft > 5 m masih harus berlabuh di luar pelabuhan atau di lepas pantai yang jaraknya ± 3 mil dari dermaga. Karena itu dikenal sebagai Pelabuhan REDE. Sejak 1970, arus kapal dan barang yang melalui Pelabuhan Semarang cenderung semakin meningkat setiap tahun. Menurut data tahun 1970-1983 kenaikan arus barang rata-rata tiap tahun yaitu 10% lebih. Mengingat keterbatasan fasilitas pelabuhan seperti kedalaman dan lebar alur/kolam yang tidak memadai untuk masuk/keluarnya kapal-kapal samudera, maka Pemerintah menetapkan untuk mengembangkan Pelabuhan Semarang.

3.1.3. Pelabuhan Gresik

Pelabuhan Gresik terletak pada posisi $112^{\circ}39'30,60''$ BT dan $7^{\circ}9'27,40''$ LS, tepatnya pada Selat Madura atau sebelah utara Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Kota Gresik dibagi menjadi 7 bagian wilayah kota dan masing-masing bagian wilayah kota dibentuk satu pusat bagian wilayah kota. Dengan mempertimbangkan kondisi fisik lokasi lokasi pelabuhan dan sekitarnya serta permasalahan kota yang ada saat ini, khususnya masalah pengembangan transportasi dan kebutuhan layanan kota, maka ada 3 kawasan kepentingan pelabuhan yang direncanakan di kota Gresik yaitu Pelabuhan Utama Gresik merupakan pelabuhan utama bagi arus barang dan penumpang, baik yang masuk maupun yang keluar ke Pelabuhan Gresik. Pelabuhan Gresik merupakan pelabuhan khusus yang penggunaannya terbatas untuk kepentingan industri tertentu seperti petrokimiaa, plywood dan semen.

Sejarah Pelabuhan Gresik yaitu di mulai sekitar abad ke-16 M di mana pada waktu itu pelabuhan Gresik dapat menggeser peran dari Pelabuhan Tuban, hal ini dibuktikan dengan ketertarikan kapal-kapal asing untuk berlabuh di pelabuhan Gresik. Pelabuhan Gresik mempunyai 3 dermaga, yaitu Dermaga 265 dengan luas 2650 m^2 dan mempunyai kedalaman sekitar 6 m, Dermaga 70 yang mempunyai luas 700 m^2 dengan kedalaman 6 m serta Dermaga 180 yang mempunyai luas 1800 m^2 dengan kedalaman hanya 3 m.

3.1.4. Tanjung Tembaga Probolinggo

Pelabuhan Probolinggo secara geografis terletak pada posisi 74°43' LS dan 130°13' BT. Batas daratnya masuk dalam Kelurahan Manyangan dan secara administratif masuk wilayah Kota Probolinggo.

3.1.5. Tanjung Wangi Banyuwangi

Pelabuhan Tanjung Wangi terletak di Kecamatan Tanjung Wangi, Kabupaten Banyuwangi, Propinsi Jawa Timur. Secara geografis pelabuhan Tanjung Wangi terletak pada posisi lintang 114°23' LS dan 08°65'50" BT. Dipandang dari sudut geografis, kedudukan Tanjung Wangi cukup strategis karena terletak di ujung Pulau Jawa Timur yang terletak berseberangan dengan Pulau Bali. Provinsi lainnya, seperti Nusa Tenggara Timur dan Nusa Tenggara Barat, berada dalam kawasan 1000 km dari pelabuhan ini. Dapat dikatakan bahwa Pelabuhan Tanjung Wangi merupakan poros kipas yang melingkupi pulau-pulau tersebut.

Pelabuhan Tanjung Wangi berada dalam wilayah administratif Kecamatan Tanjung Wangi. Jumlah penduduk kabupaten banyuwangi mencapai 1.451.787 jiwa, sedangkan untuk Provinsi Jawa Timur sebesar 34,90 juta jiwa. Luas Provinsi Jawa Timur mencapai 47.921,98 km² yang berarti sama dengan 22% dari luas total Pulau Jawa. Adapun luas Kabupaten Banyuwangi adalah 5.782,50 km². Kabupaten Banyuwangi dilalui oleh 20 sungai dimana sungai yang terpanjang adalah Sungai Kalibaru.

3.1.6. Benoa Bali

Pelabuhan Benoa adalah pelabuhan yang terdapat di Kota Denpasar, Provinsi Bali Indonesia. Pelabuhan ini merupakan pintu masuk ke Kota Denpasar melalui jalur laut. Pelabuhan Benoa telah mulai diusahakan sejak 1924, berdasarkan Stb. 1924 No. 378, seiring dengan keberadaan bangsa Belanda di Kota Denpasar. Pada awalnya batas daerah kerja dan kepentingan pelabuhan Benoa didasarkan pada gambar peta pelabuhan zaman Belanda yang ditetapkan dalam *Staadblad* nomor 16 tanggal 8 Januari 1926. Selanjutnya batas-batas lingkungan kerja pelabuhan dan daerah lingkungan kepentingan Pelabuhan Benoa ditetapkan dengan Surat Keputusan Bersama (SKB) Menteri Dalam Negeri dan Menteri Perhubungan nomor 15 Tahun 1990/KM.18 Tahun 1990 tanggal 14 Pebruari 1990. Pada tahun 2010 Pelabuhan Benoa mendapat penghargaan dari Majalah *Dream World Cruise Destination* sebagai *Best Port Welcome*.

Pelabuhan Benoa di masa mendatang diharapkan dapat berfungsi sebagai pelabuhan yang akomodatif terhadap permintaan jasa-jasa yang efektif dan efisien. Pelabuhan ini juga diharapkan dapat berperan sebagai pelabuhan modern untuk mendukung atau memicu pertumbuhan perekonomian daerah khususnya, maupun pertumbuhan ekonomi nasional pada umumnya. Letak posisi geografis pelabuhan ini adalah $8^{\circ}44'32.58''$ LS dan $115^{\circ}12'35.39''$ BT, dengan jarak kurang lebih 10 km dari Ibukota Denpasar. Lokasi ini mudah dijangkau dari Bandara Internasional Ngurah Rai serta objek-objek wisata terkenal lainnya.

Keberadaan pelabuhan sebagai salah satu subsistem transportasi mempunyai peranan strategis karena merupakan mata rantai yang mempertemukan dua atau lebih jenis transportasi. Kondisi fasilitas dan peralatan yang memadai serta pengelolaan pelabuhan yang efektif dan efisien sangatlah menentukan kelancaran pendistribusian barang dan naik-turunnya penumpang. Dengan demikian, secara tidak langsung keberadaan pelabuhan juga mempunyai kontribusi dalam mendukung pertumbuhan ekonomi baik secara local, nasional maupun regional.

Letak pelabuhan benoa dapat dikatakan cukup strategis sebagai tempat bongkar muat barang untuk keperluan daerah Bali dan sekitarnya. Demikian juga perannya sebagai salah satu pintu gerbang pariwisata yang keluar masuk daerah Bali, menjadikan Pelabuhan Benoa semakin menarik bagi investor. Pertumbuhan ekonomi Provinsi Bali yang kontribusi terbesarnya adalah dari sektor pariwisata juga memiliki kecenderungan peningkatan arus kunjungan kapal, bongkar muat barang, arus penumpang, serta adanya arus peti kemas yang dimulai sejak 1955 di Pelabuhan Benoa. Kebutuhan akan jasa pelabuhan pada dasarnya dipengaruhi oleh kegiatan sektor industri, perdagangan, dan juga pariwisata. Sementara itu, keberhasilan pengelolaan pelabuhan antara lain tercermin pada kapasitas yang tersedia, keterjangkauan biaya, dan efisiensi perusahaan.

Secara administratif, Provinsi Bali dibagi atas 9 wilayah Daerah Tingkat II dan I Kotamadya. Kabupaten Buleleng merupakan wilayah terluas (24%) dan Kotamadya Denpasar memiliki luas terkecil. Luas wilayah Bali kurang lebih $1.445.403 \text{ km}^2$, yang terdiri dari 6,08% lahan sawah dan 93,02% lahan kering. Daerah persawahan terpusat di Kabupaten Tabanan, Gianyar, Badung dan Buleleng.

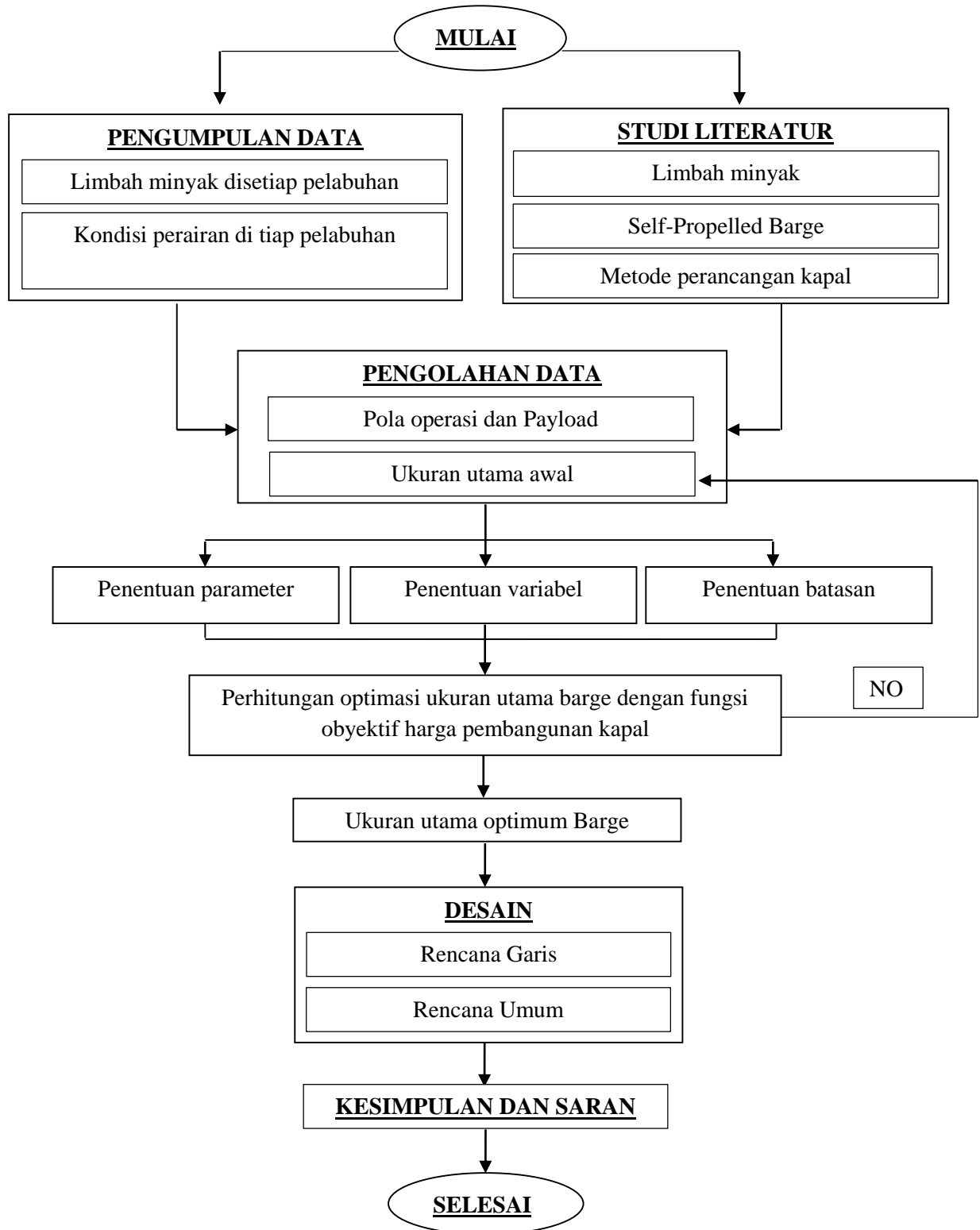
3.1.7. Lembar Lombok

Pelabuhan Lembar berada di sebelah barat Pulau Lombok atau terletak di Teluk Labuan Tereng, yaitu pada posisi 8°43'50" LS dan 116°24'20" BT. Jarak dengan Kota Mataram sekitar 30 km. pelabuhan lembar adalah alternatif yang tepat dan aman untuk berlabuhnya kapal-kapal, baik di musim barat maupun di musim timur. Di Lembar, selain terdapat pelabuhan umum, juga terdapat pelabuhan penyeberangan yang dikelola oleh PT (Persero) angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) untuk melayani kapal-kapal lintas Lembar-Padang Bay (36 mil laut) yang dilayani oleh 16 buah kapal penyeberangan dengan interval waktu pemberangkatan atau kedatangan 1,5 jam dengan lama tempuh kurang lebih 4 jam. Untuk mengantisipasi arus kunjungan kapal yang semakin meningkat di Pelabuhan Lembar ini, diperlukan antisipasi dengan pengerukan alur dan kolam pelabuhan sehingga transportasi dapat berjalan dengan baik.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Diagram alir penelitian



4.2. Langkah pengerjaan

Secara umum prosedur pengerjaan Tugas Akhir ini dilakukan dengan beberapa langkah sesuai dengan diagram alir penelitian pada halaman sebelumnya yaitu sebagai berikut:

1. Mulai
2. Tahap Pengumpulan Data
3. Tahap Studi Literatur
4. Tahap Pengolahan Data
5. Tahap Desain
6. Kesimpulan dan Saran

4.2.1. Mulai

Penyusunan Tugas Akhir ini dimulai dengan melakukan identifikasi terlebih dahulu mengenai permasalahan. Permasalahan yang timbul adalah tidak adanya fasilitas penanganan limbah minyak di semua Pelabuhan Indonesia. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu diadakan suatu solusi yaitu dengan membangun moda angkut untuk mengangkut limbah minyak yang dihasilkan di setiap titik pelabuhan. Moda angkut tersebut berupa *Self-Propelled Barge* yang akan memuat limbah minyak dari setiap titik pelabuhan-pelabuhan yang dilayani, yang sebelumnya di pelabuhan tersebut terdapat tangki penampungan. Dan kemudian diangkut, dikumpulkan dan dikelola dalam satu titik pelabuhan pengumpul akhir/pelabuhan utama. Pelabuhan pengumpul akhir dibangun sebuah fasilitas penanganan limbah minyak yang dilengkapi dengan berbagai system untuk pemisahan limbah minyak menjadi air dan minyak bersih. Dalam Tugas Akhir ini dianalisa mengenai pembangunan alat angkut dengan melakukan optimasi ukuran utama kapal tongkang.

4.2.2. Tahap pengumpulan data

Metode pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini adalah metode pengumpulan secara tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini. Adapun data-data yang diperlukan antara lain:

1. Data jumlah debit limbah minyak setiap pelabuhan

Data mengenai debit limbah minyak yang akan diambil disetiap pelabuhan didapatkan dari Tugas akhir sebelumnya. Pada Tugas akhir sebelumnya debit limbah minyak disetiap pelabuhan dipengaruhi oleh jumlah kedatangan kapal.

Dari data debit limbah minyak pada Tugas akhir sebelumnya dapat dikembangkan menjadi acuan dalam penentuan *payload*.

2. Kondisi perairan

Sesuai permintaan owner yaitu daerah pelayaran di kawasan Pelabuhan Indonesia III yang meliputi Pelabuhan Tanjung Perak, Probolinggo, Tanjung Wangi, Benoa, Lembar, Tanjung Emas dan Pelabuhan Gresik, maka diperlukan data teknis tentang kedalaman perairan, jarak rute pelayaran, dan fasilitas pelabuhan yang ada. Dari kedalaman perairan didapatkan batasan tentang sarat kapal yang nantinya dirancang sedemikian rupa sehingga kapal tersebut tidak mengalami kandas ketika beroperasi. Panjang rute pelayaran perlu diketahui untuk mengetahui waktu yang ditempuh dalam sekali angkut, ini berhubungan dengan kecepatan kapal yang diperlukan.

3. Data kapal pembanding

Data kapal pembanding yang digunakan didapat dari internet. Data ini digunakan untuk menentukan ukuran utama awal sebelum dilakukan optimisasi. Untuk mendapatkan ukuran kapal pembanding harus diketahui terlebih dahulu *payload* dan DWT kapal. Ukuran kapal pembanding biasanya diambil kurang lebih 20% dari *payload*.

4. Data mesin utama kapal

Ukuran daya mesin utama didapatkan dari perhitungan propulsi dan hambatan. Untuk mesin yang akan digunakan nantinya akan diambil dari katalog mesin.

5. Data mesin bantu kapal

Ukuran daya mesin utama didapatkan dari perhitungan propulsi dan hambatan. Untuk mesin yang akan digunakan nantinya akan diambil dari katalog mesin bantu.

4.2.3. Tahap studi literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan pada Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan tema dari tugas akhir ini. Studi literatur juga dilakukan terhadap hasil penelitian sebelumnya untuk lebih memahami permasalahan dan pengembangan yang dilakukan. Studi yang dilakukan yaitu mengenai:

- **Limbah minyak**
Perlu diketahui bagaimana karakteristik atau sifat limbah minyak secara umum. Serta perlu diketahui macam-macam limbah apa saja yang masuk kedalam limbah minyak. Sehingga nanti pada saat proses pengangkutan tidak bercampur dengan limbah yang beracun dan berbahaya.
- ***Self-Propelled Barge***
Literatur mengenai *Self-propelled barge* diperlukan karena merupakan pokok pikiran dari tugas akhir ini. Perlu diketahui aturan atau *rule* yang mengatur mengenai pembangunan kapal jenis ini.
- **Sistem Perpipaan**
Kapal ini nantinya akan mengangkut minyak, sehingga secara umum kapal ini akan mirip dengan kapal tanker. Dalam merancang kapal jenis ini juga harus memperhatikan sistem perpipaan yang akan digunakan. Sehingga literatur mengenai sistem perpipaan digunakan untuk mengetahui sistem apa yang cocok untuk digunakan.
- **Metode desain kapal**
Ada beberapa metode dalam proses mendesain kapal yang perlu diketahui dan dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pemilihan metode mana yang sesuai.

4.2.4. Tahap pengolahan data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data-data yang diperoleh untuk dijadikan sebagai input dalam perhitungan selanjutnya. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui beberapa hal, diantaranya:

1. Payload dan pola operasi
2. Ukuran utama kapal

Untuk menentukan ukuran utama barge, dibuat model optimasi dari data-data yang telah didapat. Model optimasi dibuat sedemikian rupa agar memenuhi semua kriteria yang disyaratkan. Dari model optimisasi yang akan dibuat, terlebih dahulu ditentukan variabel, parameter, konstanta, fungsi objektif dan batasannya.

- **Variable**

Nilai yang ingin dicari atau variabel dalam proses optimisasi ini adalah panjang, lebar, tinggi, sarat, dan koefisien blok kapal.

- Konstanta

Yang termasuk dalam konstanta adalah berat jenis air, percepatan gravitasi, berat jenis baja, dll.

- Parameter

Yang termasuk parameter dalam proses optimasi ini adalah:

- Jumlah muatan yang direncanakan.

Jumlah muatan yang direncanakan diasumsikan sebagai *owner's requirement's*.

- Kedalaman perairan dan kecepatan relatif angin.

Kedalaman perairan ini diambil dari kedalaman perairan di sembakung.

Untuk kedalaman perairan di wilayah operasional diasumsikan memiliki nilai kedalaman yang lebih besar.

- Batasan

Batasan ditentukan berdasarkan aturan atau rule yang berlaku. Dengan adanya batasan ini maka variabel yang didapatkan tidak akan menyalahi aturan. Batasan yang dibuat yaitu:

- *Freeboard*

Acuan lambung timbul nantinya digunakan sebagai nilai minimum yang harus dipenuhi barge pada muatan penuh.

- *Trim*

- *Displacement*

Berat total barge (DWT+LWT) barge yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displasemen hasil perhitungan ($L \times B \times T \times C_b$) sebesar 0% s/d 5%.

- Stabilitas

Persyaratan stabilitas mengacu pada *IMO Resolution* untuk menghitung *intact stability*, (IS Code A.749.18, 2007)

- Fungsi Obyektif

Yang dijadikan sebagai fungsi objektif yaitu biaya pembangunan kapal. Biaya pembangunan kapal meliputi harga pelat, harga perlengkapan dan harga permesinan.

4.2.5. Tahap desain

Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk melayani dan memenuhi kebutuhan akan pengangkutan limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III. Perencanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Desain Rencana Garis

Pembuatan Rencana Garis dilakukan dengan bantuan *software maxsurf*. Bentuk *barge* dibuat menyerupai *barge* pada umumnya. Dari desain yang telah dibuat di *maxsurf* dapat langsung diambil *lines plans* nya. Selanjutnya untuk memperhalus hasilnya dilakukan dengan *software AutoCad*.

2. Desain Rencana Umum

Dari Rencana Garis yang telah ada, dibuat Rencana Umum untuk tampak samping dan tampak geladak utama. Penataan muatan, pemasangan peralatan dan perlengkapan, dan lainnya direncanakan dengan baik di sini.

4.2.6. Kesimpulan dan saran

Pada tahap ini dirangkum hasil desain yang didapat dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisis dan perhitungan. Kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan koreksi keamanan barge terhadap standar yang ada.

Saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap apa-apa yang belum tercakup di dalam proses desain ini.

BAB 5. ANALISIS TEKNIS

5.1. Lokasi penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus dalam Tugas Akhir ini adalah Pelabuhan Indonesia III. Pemilihan lokasi ini disesuaikan dengan kebutuhan akan penanganan limbah minyak di pelabuhan-pelabuhan. Pelabuhan Indonesia III merupakan kesatuan pelabuhan-pelabuhan Indonesia yang terletak dibagian tengah wilayah Indonesia sampai timur wilayah Indonesia. Yang termasuk cabang dalam Pelabuhan Indonesia III antara lain: Tanjung Perak, Tanjung Emas, Banjarmasin, Cilacap, Teluk Lamong, Benoa, Gresik, Probolinggo, Tanjung Wangi, Tenau, Kotabaru, Sampit, Lembar, Kumai, Tegal Celukan Bawang, Bima, dan Maumere.

Dalam Tugas akhir ini lokasi studi kasus yang dipilih hanya 7 (tujuh) pelabuhan yang terletak segaris dengan Pulau Jawa, pelabuhan-pelabuhan tersebut antara lain: Tanjung Emas, Tanjung Perak, Gresik, Probolinggo, Tanjung Wangi, Benoa, dan Lembar. Alasan memilih ketujuh Pelabuhan tersebut karena pelabuhan-pelabuhan tersebut terletak berjejer segaris dengan Pulau Jawa, dan pelabuhannya berintegrasi dalam satu garis. Dari tujuh pelabuhan, beberapa pelabuhan memiliki debit limbah minyak yang kecil, dan tidak ada kemungkinan untuk dibangun fasilitas penanganan limbah minyak. Sehingga solusi penanganan limbah minyak dari segi transportasi dirasa sangat cocok dalam kondisi seperti pelabuhan yang memiliki debit limbah minyak yang sangat kecil.

Pengambilan data dalam Tugas Akhir ini dilaksanakan di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya baik data primer maupun sekunder. Alasan memilih Tanjung Perak sebagai tempat penelitian, antara lain: Tanjung Perak dikondisikan sebagai Pelabuhan utama atau penumpukan terakhir dalam penelitian ini. Tanjung Perak mempunyai banyak *sample* ukuran kapal dalam pengambilan jumlah limbah per kapal dimana tercermin dalam setiap pelabuhan, dan Tanjung Perak merupakan pelabuhan yang mempunyai fasilitas penanganan limbah sebelumnya.

Kondisi fasilitas penanganan limbah minyak di Pelabuhan Tanjung Perak sangat kurang terawat oleh pihak pengelola yaitu operator pelabuhan. Kondisi tersebut dikarenakan tidak adanya biaya pendukung dalam menjalankan operasional fasilitas limbah minyak di pelabuhan ini. Dengan dilihat dari kondisi pasar, pemanfaatan minyak hasil olahan limbah minyak sangat tinggi. Sehingga terdapat pendapatan yang tinggi yang didapat dari harga jual per liter dikali dengan jumlah limbah yang dijual. Analisis seperti itu mendorong pihak pelabuhan untuk

mengaktifkan kembali fasilitas penanganan limbah dengan *joint ventura* dengan pihak swasta. Tetapi saat ini masih berjalan dalam proses tender fasilitas tersebut kepada pihak swasta.

5.2. Penentuan pola operasi

5.2.1. Penentuan rute pelayaran

Untuk memuat limbah minyak disetiap titik pelabuhan di Pelabuhan Indonesia III, desain rute yang sesuai dengan konsep operasi harus dibuat terlebih dahulu. Beberapa syarat perencanaan rute yang harus dipenuhi sesuai dengan karakteristik kendaraan (kapal) dan muatan (limbah minyak) serta lokasi, adalah (Dana, 2011):

1. Kendaraan harus kembali pada depot yang sama darimana kapal tersebut berangkat. Pada perencanaan rute ini, yang disebut depot adalah pelabuhan dimana kapal mengisi bahan bakar, pelumas, kebutuhan ABK dan kapal lainnya. Hal ini dilakukan karena kapal mempunyai kemampuan yang terbatas untuk melakukan pelayaran sehingga kapal perlu singgah di pelabuhan untuk mengisi logistic kapal. Pelabuhan yang dijadikan pelabuhan utama adalah pelabuhan Tanjung Perak dikarenakan pada saat proses bunkering, Tanjung Perak mampu melayani permintaan tersebut.
2. Setiap titik yang dilayani dengan menggunakan *Self-Propelled Barge* hanya dikunjungi satu kali dalam satu periode pengangkutan. Kecuali pelabuhan Tanjung Perak yang debit limbah minyaknya paling banyak sehingga dilakukan dua kali pelayanan dalam satu periode pengangkutan.
3. Pola operasi kapal terbagi menjadi dua kawasan.

Penentuan rute ini menggunakan konsep analisa sederhana, namun tetap memperhatikan persyaratan-persyaratan seperti yang di atas. Penentuan rute ini nantinya akan berpengaruh terhadap lama waktu perjalanan yang juga akan digunakan untuk menentukan jumlah permintaan limbah minyak tiap pelabuhan yang akan dilayani. Dalam proses analisa sederhana nantinya juga akan diketahui berapa jarak pelayaran total untuk satu periode pengangkutan. Untuk mengetahui berapa jarak total pelayaran maka harus diketahui terlebih dahulu berapa jarak pelayaran untuk tiap-tiap pelabuhan. Adapun jarak (dalam Nm) antara tiap pelabuhan satu dengan pelabuhan yang lain disajikan dalam bentuk matrik seperti yang terlihat pada tabel 5.1 halaman selanjutnya.

Tabel 5.1 Jarak antar pelabuhan

Jarak (Nm)	X	A	B	C	D	E	F
X	0	194	5	46	145	228	267
A	194	0	189	235	340	431	404
B	5	189	0	52	177	289	262
C	46	235	52	0	120	238	214
D	145	340	177	120	0	80	68
E	228	431	289	238	80	0	53
F	267	404	262	214	68	53	0

Keterangan :

Kode	Pelabuhan
X	Tanjung Perak
A	Tanjung Emas
B	Pelabuhan Gresik
C	Pelabuhan Probolinggo
D	Tanjung Wangi
E	Benoa
F	Lembar

Penentuan pola operasi menghasilkan rute pelayaran *Self-Propelled Barge* yaitu dengan membagi daerah pelayaran menjadi dua kawasan, yaitu kawasan timur yang meliputi Pelabuhan Lembar, Pelabuhan Benoa, Pelabuhan Tanjung Wangi, Pelabuhan Probolinggo. Sedangkan untuk kawasan barat meliputi Pelabuhan Tanjung Emas dan Pelabuhan Gresik.

Pelabuhan Tanjung Perak akan dilayani sebanyak dua kali dikarenakan mempunyai debit limbah minyak yang paling banyak sehingga nantinya dalam proses pengangkutan limbah minyak akan didistribusikan secara merata ketika melakukan pelayanan untuk rute kawasan timur dan rute kawasan barat. *Self-Propelled Barge* ini terlebih dahulu melakukan pelayanan untuk pelabuhan yang masuk dalam kawasan barat dan selanjutnya melayani pelabuhan di kawasan timur. Hal ini dikarenakan pengaruh dari ketersediaan jumlah limbah minyak yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak. Apabila kapal mengambil minyak yang berada di kawasan barat terlebih dahulu, maka ketersediaan limbah minyak di pelabuhan Tanjung Perak sudah sesuai dengan permintaan bahkan masih ada limbah minyak yang tidak terambil dan sisa minyak inilah yang nantinya akan diambil ketika melakukan pelayanan ke kawasan

timur. Sedangkan apabila kapal ini mengambil minyak yang di kawasan timur terlebih dahulu, maka ketersediaan limbah minyak di Pelabuhan Tanjung Perak masih mengalami kekurangan sehingga tidak sesuai dengan permintaan. Dari pertimbangan inilah rute pelayaran *Self-Propelled Barge* ini bisa ditentukan.

Penentuan pola operasi menghasilkan dua rute pelayaran *Self-Propelled Barge*, yaitu pelayaran kawasan barat dan kawasan timur. Pelabuhan-pelabuhan yang masuk dalam daerah pelayaran kawasan barat adalah:

- a. Pelabuhan Tanjung Perak
- b. Pelabuhan Tanjung Emas
- c. Pelabuhan Gresik
- d. Fasilitas Pengolah Limbah di Teluk Lamong

Adapun rute pelayarannya adalah dari Pelabuhan Tanjung Perak (A) menuju ke Pelabuhan Tanjung Emas (B) kemudian ke Pelabuhan Gresik (C), ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya (A) dan membawa seluruh muatan ke Fasilitas Apung pengolah limbah minyak yang ada di Teluk Lamong. Perjalanan menempuh jarak kurang lebih 388 N.mil. Rute pelayaran untuk kawasan ini seperti tampak pada gambar 5.1 di bawah ini.



Gambar 5.1 Rute pelayaran kawasan barat

(Sumber: <http://www.maps.google.com>)

Sedangkan pelabuhan-pelabuhan yang masuk daerah pelayaran kawasan timur adalah:

- a. Pelabuhan Tanjung Perak
- b. Pelabuhan Lembar
- c. Pelabuhan Benoa
- d. Pelabuhan Tanjung Wangi
- e. Pelabuhan Tanjung Tembaga
- f. Fasilitas pengolah limbah minyak

Adapun rute pelayarannya adalah dari Fasilitas Apung pengolah limbah minyak langsung menuju ke Pelabuhan Lembar Lombok (B) selanjutnya ke Pelabuhan Benoa Bali (C) ke Pelabuhan Tanjung Wangi Banyuwangi (D) ke Pelabuhan Tanjung Tembaga Probolinggo (E) ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya (A) dan berakhir di Fasilitas Apung pengolah limbah minyak. Perjalanan menempuh jarak kurang lebih 566 N.mil. Rute pelayaran untuk kawasan ini seperti tampak pada gambar 5.2 di bawah ini.



Gambar 5.2 Rute pelayaran kawasan timur

(Sumber: <http://www.maps.google.com>)

5.2.2. Penentuan waktu operasi kapal

Setelah menentukan rute pelayaran yang akan dipilih untuk operasi kapal pengangkut limbah ini, maka dapat dihitung waktu pelayaran kapal yang akan diketahui dari pelaksanaan operasional kapal. Penentuan waktu operasi ini tergantung pada kecepatan kapal dan kecepatan bongkar muat. Pengaruh dengan kecepatan kapal yaitu *sea time*, pengaruh terhadap kecepatan bongkar muat adalah *port time*.

1. *Sea time*

Sea time atau waktu di laut merupakan nilai dari lamanya kapal berlayar dari satu titik ke titik lainnya. Nilai total waktu di laut dapat dihitung dengan membagi antara total jarak untuk satu siklus operasi dengan kecepatan kapal. Perhitungan waktu laut menggunakan konsep gerak Lurus Berubah Beraturan. Penggunaan konsep tersebut merupakan pendekatan perhitungan waktu di laut sesuai dengan kondisi eksisting. Rumusan waktu di laut adalah:

$$St = \frac{A}{Vs}$$

Dimana : St = *Sea time* kapal (jam)

A = Jarak pelayaran (Nm)

Vs = Kecepatan dinas kapal (knot)

2. *Port time*

Lamanya kapal di pelabuhan ditentukan oleh jumlah muatan yang dipindahkan dan kecepatan bongkar muat yang diberikan dalam parameter. Nilai waktu di pelabuhan dapat dihitung dengan membagi antara jumlah muatan dengan kecepatan bongkar muat tersebut. Selain itu, waktu pengisian bahan bakar atau *bunkering time* di pelabuhan Tanjung Perak juga dimasukkan sebagai *port time*. Rumusan waktu di pelabuhan adalah sebagai berikut:

$$Pt = \frac{B}{Vbm} + Bt$$

Dimana : Pt = *Port time* kapal (jam)

B = Jumlah limbah minyak (m^3)

Vbm = Kecepatan bongkar muat (m^3/jam)

Bt = Asumsi *bunkering port* (4 jam)

Dari hasil perhitungan menggunakan kedua rumus di atas didapatkan hasil untuk lama waktu operasi kapal yaitu selama 9 hari. Lama waktu operasi kapal ini nantinya akan berpengaruh dalam menentukan *payload* kapal.

5.3. Penentuan payload

Dalam mendesain kapal diperlukannya batasan desain, yang dijadikan sebagai acuan dalam proses desain. Permintaan pemilik kapal atau yang disebut *Owner's Requirement's* merupakan salah satu batasan desain yang harus dipenuhi oleh *designer* dalam proses mendesain kapal.

Dalam Tugas Akhir ini, *Owner's Requirement's* didasarkan pada jumlah muatan berupa limbah minyak yang berasal dari beberapa pelabuhan yang masuk dalam kawasan Pelabuhan Indonesia III. Adapun jumlah muatan yang akan diangkut berdasarkan jumlah debit limbah minyak yang dihasilkan masing-masing pelabuhan. Berdasarkan data yang diperoleh, didapatkan debit jumlah limbah minyak di tiap pelabuhan yang disajikan pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Debit limbah minyak tiap pelabuhan

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	122.34	124.79
Tanjung Emas	32.94	33.6
Gresik	29.3	29.88
Probolinggo	0.74	0.76
Banyuwangi	7.82	7.97
Benoa	8.21	8.37
Lembar	4.91	5.84
Total	206.26	211.21

Dalam menentukan payload telah direncanakan dua skenario yang nantinya akan dianalisis dan hanya akan diambil satu skenario yang paling efektif.

1. Skenario pertama

Pada skenario ini direncanakan kapal melayani pelabuhan yang berada di kawasan timur meliputi Lembar, Benoa, Tanjung Wangi, Tanjung Tembaga, Pelabuhan Probolinggo dan terakhir mengambil semua limbah minyak yang ada di Pelabuhan Tanjung Perak. Dan melayani pelabuhan yang berada di kawasan barat meliputi Pelabuhan Tanjung Emas dan Pelabuhan Gresik. Sehingga didapat pembagian debit limbah minyak tiap pelabuhan seperti terlihat pada table 5.3 pada halaman selanjutnya.

Tabel 5.3 Debit limbah minyak kawasan timur dan barat

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	122.34	124.79
Probolinggo	0.74	0.76
Banyuwangi	7.82	7.97
Benoa	8.21	8.37
Lembar	4.91	5.84
Total	144.02	147.73

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Emas	32.94	33.6
Gresik	29.3	29.88
Total	62.24	63.48

Dari jumlah limbah tersebut dapat diketahui berapa *payload* kapal yang nantinya akan digunakan sebagai acuan mendesain kapal, sehingga kapal tersebut nantinya dapat memenuhi permintaan pengangkutan limbah minyak di tiap kawasan. Dalam mencari *payload*, jumlah limbah minyak di tiap kawasan tersebut di kalikan dengan lama waktu penumpukan limbah. Sehingga didapat variasi *payload* untuk masing-masing kawasan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.4 Perubahan *payload*

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	720.1	738.65
6	864.12	886.38
7	1008.14	1034.11
8	1152.16	1181.84
9	1296.18	1329.57
10	1440.2	1477.3

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	311.2	317.4
6	373.44	380.88
7	435.68	444.36
8	497.92	507.84
9	560.16	571.32
10	622.4	634.8

Tabel diatas merupakan hasil variasi *payload* akibat variasi lama waktu penumpukan. Lama waktu penumpukan diambil sama dengan lama waktu operasi kapal yaitu selama 9 hari. Sehingga dapat diketahui bahwa *payload* untuk kawasan timur sebesar 1329.57 ton, dan untuk kawasan barat sebesar 571.32 ton. Sehingga untuk dapat melayani semua kawasan diperlukan 1 unit kapal dengan *payload* sebesar 1329.57 ton.

2. Skenario ke dua

Skenario ke dua ini mirip dengan kasus yang pertama, yakni membuat dua kawasan pelayaran. Namun pada kasus kedua ini perencanaan *payload* direncanakan dengan membagi jumlah total limbah minyak di semua pelabuhan menjadi dua dan sama besar

untuk masing-masing kawasan. Supaya didapat jumlah limbah minyak yang sama maka limbah minyak yang berada di Pelabuhan Tanjung Perak tidak diambil semua ketika melakukan pelayanan ke kawasan timur, melainkan jumlah limbah minyak di pelabuhan tersebut didistribusikan secara merata ke kawasan timur dan kawasan barat. Sehingga didapat pembagian debit limbah minyak tiap pelabuhan seperti terlihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 Debit limbah minyak kawasan timur dan barat

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	81.45	83.08
Probolinggo	0.74	0.75
Banyuwangi	7.82	7.98
Benoa	8.21	8.37
Lembar	4.91	5.01
Total	103.13	105.2

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	40.89	41.71
Tanjung Emas	32.94	33.60
Gresik	29.30	29.89

Total	103.13	105.2
-------	--------	-------

Dari jumlah limbah tersebut dapat diketahui bahwa jumlah limbah minyak di pelabuhan kawasan barat sama dengan jumlah limbah minyak di pelabuhan kawasan timur. Sehingga didapat *payload* seperti pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Variasi *payload*

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	515.65	525.96
6	618.78	631.16
7	721.91	736.35
8	825.04	841.54
9	928.17	946.73
10	1031.30	1051.93

Tabel diatas merupakan hasil variasi *payload* akibat variasi lama waktu penumpukan. Lama waktu penumpukan diambil sama dengan lama waktu operasi kapal yaitu selama 9 hari. Sehingga dapat diketahui bahwa *payload* kapal sebesar 956.73 ton.

Skenario pertama membutuhkan kapal yang besar untuk bisa melayani pelabuhan di kawasan timur dan untuk pelabuhan di kawasan barat. Ketika melayani pelabuhan yang berada di kawasan barat yang jumlah muatannya hanya sebesar 571.32 ton, kapal ini hanya akan terisi limbah minyak sekitar 42% dari total ruang muat yang tersedia. Hal ini akan menimbulkan

kerugian yang sangat besar dari segi operasional serta akan menyebabkan stabilitas kapal menjadi kurang bagus karena efek permukaan bebas yang terlalu besar. Sedangkan untuk skenario yang ke dua, dengan menggunakan tongkang yang jauh lebih kecil sudah dapat melayani semua kawasan baik timur maupun barat. Sehingga biaya pembangunan kapal juga akan semakin murah di banding skenario pertama. Dari pertimbangan inilah dapat disimpulkan bahwa skenario kedua jauh lebih efektif. Jadi besarnya *payload* yang diambil sebagai *Owner Requirement* dalam mendesain *Self-Propelled Barge* ini sebesar 956.73 ton yang kemudian dibulatkan menjadi 1000 ton untuk masing-masing kawasan.

5.4. Pembuatan model optimisasi

Sebelum membuat model optimisasi terlebih dahulu menentukan ukuran utama awal. Penentuan ukuran utama awal dilakukan berdasar data beberapa *barge* yang telah dibangun. Data tersebut digunakan sebagai batasan untuk menentukan nilai minimum dan maksimum. Pemilihan berikut adalah daftar kapal pembanding yang digunakan untuk proses optimisasi:

Tabel 5.7 Daftar kapal pembanding

SPOB	DWT (Ton)	Principle Dimension			
		Lpp (m)	B (m)	H (m)	T (m)
SPOB 1	1500	62	13.8	3.2	2.15
SPOB 2	1500	59.8	13.8	3.25	2.15
SPOB 3	1690	55.3	13	4.3	3.58
SPOB 4	1500	62	13.8	3.2	2.15
SPOB 5	1800	76.7	14.5	5.8	3.6
SPOB 6	1700	65.28	15.03	3.3	2.46
SPOB 7	1555	69.5	17	4.5	2.8
SPOB 8	1700	56	13.8	3.2	2.2
SPOB 9	1300	62.7	12	3.3	2.7

Dari data kapal pembanding di atas selanjutnya digunakan sebagai batasan untuk menentukan nilai minimum dan maksimum dalam menentukan nilai variabel yang dicari dan sebagai batasan untuk rasio ukuran utama.

5.4.1. Desain variabel

Dari proses optimisasi ini yang berfungsi sebagai variabel adalah panjang, lebar, tinggi, sarat. Sebagai nilai awal (*initial value*), diambil ukuran utama *barge* dari ukuran *payload* yang mendekati. Sehingga diperoleh ukuran utama sebagai input awal yaitu:

Lpp	:	62,70	m
B	:	12	m
H	:	3,3	m
T	:	2,7	m

5.4.2. Parameter

Parameter adalah harga yang nilainya tidak berubah selama proses iterasi karena adanya syarat-syarat yang harus dipenuhi. Pada proses optimisasi ini, yang berfungsi sebagai parameter adalah :

1. Permintaan owner berupa kapasitas angkut sebesar 1000 ton

Dari perencanaan muatan diperoleh kebutuhan angkut yaitu sejumlah 1000 ton untuk sekali pengiriman.

2. Analisa daerah pelayaran

Kedalaman perairan ini diambil dari kedalaman perairan minimal dari masing-masing pelabuhan di kawasan Pelabuhan Indonesai III yakni 5 m. Untuk kedalaman perairan di wilayah operasional diasumsikan memiliki nilai kedalaman yang lebih besar.

5.4.3. Batasan

Batasan adalah harga batas yang ditentukan sebelumnya agar nilai variabel tidak menyimpang dari apa yang diharapkan. Batasan – batasan yang digunakan dalam perhitungan ini adalah:

1. Freeboard

Beberapa koreksi harus dipenuhi untuk menentukan tinggi *freeboard* minimum, yaitu koreksi lambung timbul awal, koreksi koefisien blok, koreksi tinggi, dan koreksi lengkung memanjang kapal. Dalam kategori ini, *barge* masuk ke dalam kategori A. yaitu kapal dengan muatan minyak. Tinggi lambung timbul aktual tidak boleh kurang dari lambung timbul hasil perhitungan.

2. Trim

Batasan trim maksimal adalah -0,1 s/d 0,1 % LPP (Parsons, 2001)

3. Koreksi Displasemen

Berat total barge (DWT + LWT) barge yang akan dirancang harus masih berada dalam rentang displasemen hasil perhitungan (L x B x T x Cb) sebesar 0% s/d 0,5%.

4. Stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan dari sebuah kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan itu dipengaruhi lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen-komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM, ketiga komponen tersebut sangat berperan penting dalam stabilitas. Dalam perhitungan stabilitas yang paling penting adalah mencari lengan dinamis (GZ).

Persyaratan stabilitas mengacu pada IMO *Resolution* untuk menghitung *intact stability*, (IS Code A.749.18, 2002) yaitu:

- Tinggi *Metacentre* (MG) pada sudut oleng 0° tidak boleh kurang dari 0.15 m
- Lengan statis (GZ) pada sudut oleng > 30° tidak boleh kurang dari 0.20 m
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng lebih dari 15°
- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.06 m radian sampai dengan 30° sudut oleng
- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng.

5. Rasio ukuran utama kapal.

Rasio ukuran utama kapal yaitu meliputi L/B, B/T, H/T, L/H, B/H. Dari kapal pembanding yang ada, didapatkan rasio sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L/B &= 4,06 \sim 5,29 \\ B/T &= 3.63 \sim 6,42 \\ H/T &= 1.20 \sim 1.61 \\ L/H &= 12,86 \sim 19,79 \\ B/H &= 2,50 \sim 4,55 \end{aligned}$$

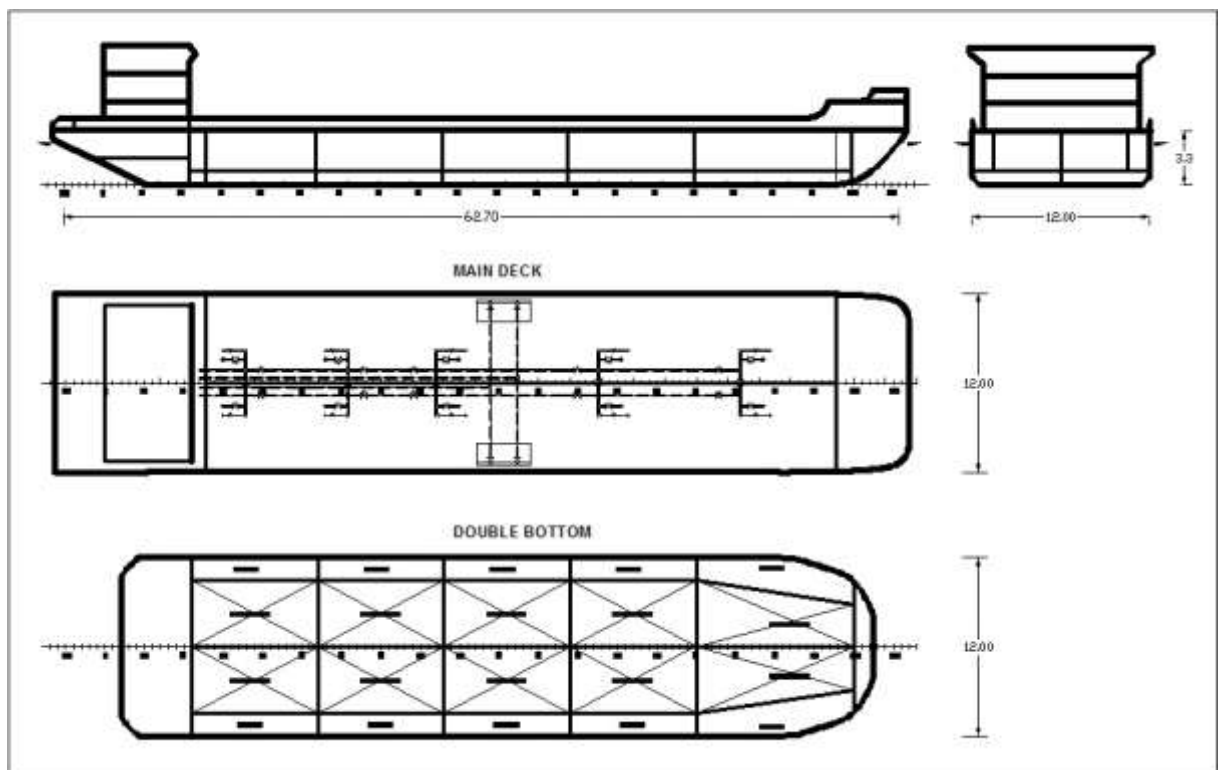
5.4.4. Fungsi obyektif

Fungsi obyektif dalam proses optimisasi ini adalah biaya pembangunan kapal. Investasi awal (biaya pembangunan kapal), terdiri dari:

- Biaya pembuatan lambung kapal
- Biaya *outfitting dan equipment*
- Biaya permesinan
- Biaya tambahan

5.4.5. Layout awal

Layout awal atau tata letak awal merupakan penyusunan awal dari elemen-elemen desain yang berhubungan kedalam sebuah bidang sehingga membentuk susunan yang artistik. Dalam proses desain kapal, tata letak awal ini bertujuan untuk mengetahui gambaran atau sketsa awal dari sebuah kapal sebelum dilakukan proses desain yang lebih detail. *Layout* awal dari *Self-Propelled Barge* ini diperoleh dari ukuran utama awal yang telah ditentukan sebelumnya. Sehingga dari ukuran-ukuran tersebut didapatkan *layout* awal kapal ini seperti terlihat pada gambar 5.3 dibawah ini.



Gambar 5.3 Layout awal Self-Propelled Barge

5.5. Perhitungan teknis

5.5.1. Pembuatan batasan

Sebelum model optimisasi dibuat, terlebih dahulu dilakukan perhitungan-perhitungan yang nantinya digunakan sebagai dasar penentuan batasan dalam proses iterasi. Perhitungan tersebut adalah :

- Perhitungan *freeboard*

Freeboard adalah hasil pengurangan tinggi kapal dengan sarat kapal dimana tinggi kapal termasuk tebal kulit dan lapisan kayu jika ada, sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas. Panjang *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded*. *Freeboard* memiliki tujuan untuk menjaga keselamatan penumpang, *crew*, muatan dan kapal itu sendiri. Bila kapal memiliki *freeboard* tinggi maka daya apung cadangan akan besar sehingga kapal memiliki sisa pengapungan apabila mengalami kerusakan. Barge yang dirancang merupakan kapal tipe A, sehingga diambil *freeboard* standar yang telah ditetapkan untuk kapal tipe A berdasarkan panjang kapal. Kemudian ditambah dengan koreksi hingga didapatkan *freeboard* minimal yang disyaratkan. *Freeboard* minimal inilah yang dijadikan salah satu batasan dalam iterasi yang dilakukan.

- Perhitungan stabilitas

Yaitu perhitungan untuk mencari besarnya lengan stabilitas kapal dari ukuran utama kapal dan koefisien-koefisiennya.

- Perhitungan berat baja

Untuk perhitungan berat baja dilakukan dengan menggunakan rumus pendekatan. Setiap profil dan pelat yang diperlukan dalam proses desain dihitung sesuai rumus yang ada dan kemudian ditotal jumlahnya.

- Perhitungan *equipment* dan *outfitting* (E&O)

Proses perhitungan berat perlengkapan dan peralatan dilakukan dengan menggunakan rumus pendekatan. Beratnya E&O merupakan fungsi dari panjang kapal dan lebar kapal.

- Perhitungan koreksi displacement

Berat baja yang telah dihitung dijumlahkan dengan berat peralatan dan perlengkapan sehingga didapatkan LWT. LWT kemudian dijumlahkan dengan

berat total muatan (DWT) dan didapatkanlah berat *displacement*. Berat LWT + DWT dibandingkan dengan displacement yang didapat dari perkalian $L \times B \times T \times C_{bxp}$. Selisih antara keduanya harus dalam *range* 1% sampai 3%. Dalam hal ini $L \times B \times T \times C_{bxp}$ harus lebih besar daripada LWT+DWT yang didapat dari perhitungan, sehingga tetap ada berat cadangan didalamnya.

- Perhitungan kapasitas ruang muat

Volume muatan yang akan diangkut kemudian dibandingkan dengan volume ruang muat yang tersedia. Volume muatan diperoleh dari *payload* kapal dibagi dengan massa jenis limbah minyak. Sedangkan volume ruang muat yang tersedia diperoleh dari perkalian panjang ruang muat dengan lebar ruang muat serta dengan tinggi ruang muat setelah dikurangi tinggi *double bottom*. Apabila volume muatan jauh lebih besar maka ukuran kapal ini tidak memenuhi. Apabila volume ruang muat jauh lebih besar dibandingkan dengan volume muatan maka ukuran kapal ini memenuhi, asalkan selisih volume ruang muat tidak lebih besar dari 5%.

- Perhitungan trim

Trim dapat didefinisikan sebagai gerakan kapal yang mengakibatkan tidak terjadinya *even keel* atau gerakan kapal mengelilingi sumbu Y secara tepatnya. Trim ini terjadi akibat dari tidak meratanya momen statis dari penyebaran gaya berat. Trim dibedakan menjadi dua yaitu trim haluan dan trim buritan. Trim haluan yaitu sarat haluan lebih tinggi daripada sarat buritan sedangkan trim buritan kebalikan dari trim haluan.

- Perhitungan biaya pembangunan kapal

Biaya pembangunan kapal dapat diestimasi dari perhitungan berat baja, berat perlengkapan, berat permesinan dan biaya tambahan. Dari total berat baja kemudian dikalikan dengan biaya pendekatan *structural cost* dari hasil regresi, maka didapat biaya pembangunan lambung dari barge tersebut. Sementara untuk biaya perlengkapan diperoleh dari total berat perlengkapan, yang kemudian dikalikan dengan estimasi harga per ton dari hasil regresi. Untuk biaya permesinan diperoleh dari berat permesinan total dikalikan dengan estimasi harga per ton dari hasil regresi. Sedangkan untuk biaya tambahan meliputi biaya *drawing*, biaya *sea trial*, biaya klasifikasi dan lain-lain. Biaya tambahan ini diambil 10% dari penjumlahan biaya pembangunan lambung, perlengkapan dan permesinan.

5.5.2. Ukuran utama optimum

Setelah semua batasan selesai dibuat, selanjutnya adalah membuat model optimisasi untuk memperoleh ukuran utama yang optimum. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membuat model optimisasi dimana di dalamnya terdapat value yang akan dicari, batasan yang telah ditentukan sebelumnya, dan fungsi obyektif sebagai acuan untuk proses optimisasi. Model yang dibuat pada penelitian ini tampak seperti gambar 5.4 halaman selanjutnya.

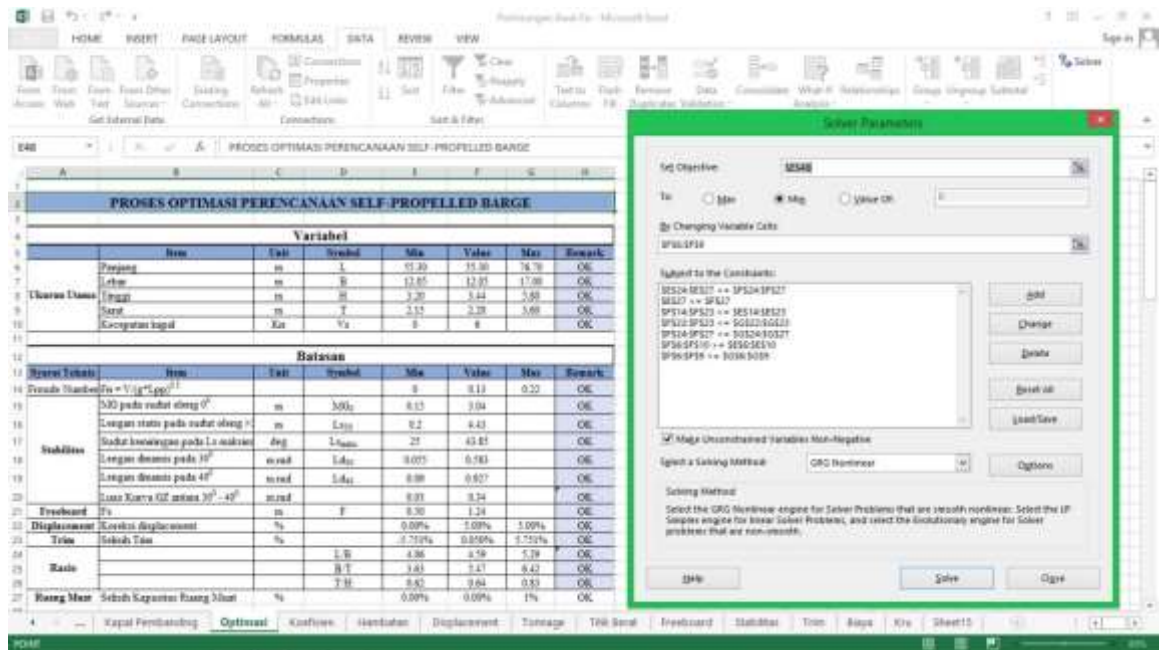
PROSES OPTIMASI PERENCANAAN SELF-PROPELLED BARGE						
Variabel						
	Unit	Min	Max	Value	Max	Remark
Length	m	0	100	100	100	OK
Breadth	m	0	10	10	10	OK
Depth	m	0	10	10	10	OK
Height	m	0	10	10	10	OK
Capacity	ton	0	1000	1000	1000	OK

Batasan						
	Unit	Min	Max	Value	Max	Remark
Freight Standard	USD/ton	0	100	100	100	OK
Substansi	ton	0	1000	1000	1000	OK
Freeboard	m	0	10	10	10	OK
Displacement	ton	0	1000	1000	1000	OK
Tonnage	ton	0	1000	1000	1000	OK
Kapasitas Barge Muat	ton	0	1000	1000	1000	OK

Gambar 5.4 Input solver dalam excel

(Sumber: Data Olahan)

2. Setelah model selesai dibuat selanjutnya adalah melakukan *running* model. Fasilitas *solver* dapat diakses melalui toolbar data > solver. Selanjutnya akan muncul tampilan *solver* parameter. Pada menu *set target cell* dimasukkan harga material. Dimana pengesetanya dipilih minimum karena akan dicari harga material yang paling rendah. Untuk menu *by changing cell* dipilih variabel yang akan dicari yaitu L, B, T, H. Kemudian pada menu *subject to the constrain* dimasukkan semua nilai minimum dan maksimum yang berfungsi sebagai batasan dari proses iterasi. Tampilan *solver* ketika dilakukan proses *running* akan tampak seperti gambar 5.5 pada halaman selanjutnya.



Gambar 5.5 Solver parameter

(Sumber: Data Olahan)

- Setelah semua telah terisi, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *running solver*. Apabila optimisasi yang dilakukan memenuhi semua batasan yang diberikan maka akan muncul pemberitahuan bahwa *solver* telah menemukan solusi untuk model yang dibuat. Tampilan hasil optimisasi ketika berhasil tampak pada gambar 5.6 dibawah ini.

The image shows the Microsoft Excel Solver Parameters dialog box with the 'Solve' button highlighted. The background spreadsheet is the same as in Gambar 5.5, showing the 'PROSES OPTIMASI PERENCANAAN SELF-PROPELLED BARGE' model with 'Variabel' and 'Batasan' tables.

Gambar 5.6 Solver result yang sukses

(Sumber: Data Olahan)

Ukuran utama optimum yang didapat dari proses *running solver* tersebut adalah:

Lpp	: 55.30 m
B	: 12.05 m
H	: 3.44 m
T	: 2.20 m

5.5.3. Perhitungan hambatan

Perhitungan hambatan untuk kapal ini menggunakan metode khusus. Dalam metode tersebut tahanan tongkang dibagi menjadi dua komponen yaitu Tahanan Air dan Tahanan Angin (Henschke, 1978).

- Nilai hambatan Air didapat dari rumus:

$$W = f.s.V^{1.83} + P.Fx.V^2$$

Dimana:	f	= konstanta bahan	
	s	= Luas permukaan basah	(m ²)
	V	= Kecepatan kapal	(m/s)
	P	= Konstanta bentuk tongkang	
	Fx	= Luas penampang midship	(m ²)

Sehingga didapat nilai hambatan karena Air adalah 88,02 kN.

- Nilai hambatan Angin didapat dari rumus:

$$W = 0,0041 \cdot (0,3A_1 + A_2) \cdot V_a^2$$

Dimana:	A ₁	= Luas penampang melintang kapal	(ft ²)
	A ₂	= Luas proyeksi trasversal bangunan atas	(ft ²)
	V _a	= Kecepatan relatif angin	(ft/s)

Sehingga didapat nilai hambatan karena Angin adalah 0.16 kN.

- Rtotal = Wair + Wangin + margin 15%
= 101,402 kN

5.5.4. Perhitungan stabilitas

Adapun langkah-langkah perhitungan stabilitas sebagai berikut :

L	= <i>waterline length</i> = 188,69 ft
B	= <i>maximum breadth</i> = 39,53 ft
B _w	= <i>maximum waterline breadth</i> = 39,53 ft
H	= <i>mean draft at designed waterline</i> = 11,30 ft
D _M	= <i>minimum depth</i> = 11,30 ft
S _F	= <i>sheer forward</i> = 0 ft
S _A	= <i>sheer after</i> = 0 ft
Δ ₀	= <i>displacement at designed waterline</i> [long ton] = Δ/1.016 = 1315,26 long ton
L _d	= <i>length of superstructure which extend to sides of ship</i> = 18,14 m
d	= <i>height of superstructure which extend to sides of ship</i> = 5,91 m
C _B	= <i>block coefficient</i> = 0.854
C _w	= <i>waterline coefficient at draft H</i> = 0.907
C _x	= <i>midship section coefficient at draft H</i> = 0,996
C _{PV}	= <i>vertical prismatic coefficient at draft H</i> = 0.94
A ₀	= <i>area of waterline plane at designed draft</i> = 6765,94 ft ²
A _M	= <i>area of immersed midship section</i> = 44,84 ft ²
A ₂	= <i>area of vertical centerline plane to depth D</i> = 2195,77 ft ²
S	= <i>mean sheer</i> = 107,14 ft = <i>area of centerline plane above minimum depth divided by length</i> $= (L_d \cdot d) + \left[\frac{1}{2} \cdot L \cdot \left(\frac{S_F}{3} \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot L \cdot \left(\frac{S_A}{3} \right) \right]$
D	= <i>mean depth</i> = 11,86 ft $= \left(\frac{S}{L} \right) + D_M$
F	= <i>mean freeboard</i> = 4,07 ft

$$\begin{aligned}
A_1 &= \text{area of waterline plane at depth } D \text{ maybe estimate from } A_0 \text{ and nature} \\
&\quad \text{of stations above waterline} \\
&= 1.01 \cdot A_0 = 6833,60 \text{ ft}^2
\end{aligned}$$

Perhitungan lengan statis (GZ) :

$$\begin{aligned}
\Delta_T &= \Delta_0 + \left(\frac{(A_0 + A_1)}{2} \left(\frac{F}{35} \right) \right) \\
&= 2105,60 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\delta &= \left(\frac{\Delta_T}{2} \right) - \Delta_0 \\
&= -1195,681 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{W'} &= \frac{A_2}{L \cdot D} \\
&= 0,98
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{W''} &= C_{W'} - \frac{140\delta}{B \cdot D \cdot L} (1 - C_{PV}) \\
&= 1,04
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{X'} &= \frac{A_M - B \cdot F}{B \cdot D} \\
&= 1,29
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{PV'} &= \frac{35\Delta_T}{A_1 D} \\
&= 0,91
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{PV''} &= \frac{35\Delta_T}{A_2 B} \\
&= 0,85
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_0 &= \frac{H \left(\left(\frac{A_1}{A_0} \right) - 1 \right)}{2F(1 - C_{PV})} \\
&= 0,24
\end{aligned}$$

$$f_1 = \frac{D \left(1 - \left(\frac{A_0}{A_1} \right) \right)}{2F(1 - C_{PV} ')}$$

$$= 0,16$$

$$f_2 = \begin{cases} 9.1 (C_X' - 0.89) & \Rightarrow C_X' \geq 0.89 \\ 0 & \Rightarrow C_X' < 0.89 \end{cases}$$

KG = KG yang didapat dari total berat perhitungan.

$$KG' = \frac{D(1 - h_1)\Delta_T - \delta}{2\Delta_0}$$

$$= 2,366 \text{ ft}$$

$$GG' = KG' - KG = 7,857 \text{ ft}$$

$$h_1 = -0.4918 \cdot (C_{PV}')^2 + 1.0632 C_{PV}' - 0.0735 = 0,311$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A – 14 , The Theory and Tecnick of Ship Design. Harga h_1 didapat dari perpotongan antara C_{PV}' dengan grafik f_1].

$$h_0 = 0.335 C_{PV} + 0.1665 = 0.314$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A – 14 , The Theory and Tecnick of Ship Design. Harga h_0 didapat dari perpotongan antara C_{PV} dengan grafik f_0].

$$KB_0 = (1 - h_0)H$$

$$= 7,75 \text{ ft}$$

$$G'B_0 = KG' - KB_0 = -6,25 \text{ ft}$$

$$h_2 = -0.4918 \cdot (C_{PV}'')^2 + 1.0632 \cdot C_{PV}'' - 0.0735 = 0.548$$

[Hasil regresi hal 254 fig. A – 14 , The Theory and Technic of Ship Design. Harga h_2 didapat dari perpotongan antara C_{PV}'' dengan grafik f_2].

$$G'B_{90} = \left(\frac{\Delta_T h_2 B}{4\Delta_0} \right) - \left(\frac{17.5\delta^2}{\Delta_0 \left(A_2 - 70 \left(\frac{\delta}{B} \right) (1 - C_{PV}'') \right)} \right)$$

$$C_1 = 0.072 C_{WP}^2 + 0.0116 C_{WP} - 0.0004 = 0.0181$$

[Hasil regresi hal 255 fig. A – 15 , *The Theory and Technic of Ship Design*. Harga C_1 didapat dari perpotongan antara line 1 dengan C_w].

$$BM_0 = \frac{C_1 \cdot L \cdot B w^3}{35 \Delta_0}$$

$$C_1' = 0.1272 C_w'' - 0.0437 = 0.78$$

[Hasil regresi hal 255 fig. A – 15 line 2 , *The Theory and Technic of Ship Design*. Harga C_1' didapat dari perpotongan antara line 2 dengan C_w''].

$$BM_{90} = \left(\frac{C_1' \cdot L D^3}{35 \Delta_0} \right) + \left(\frac{L_d d D^2}{140 \Delta_0} \right)$$

$$GM_0 = KB_0 + BM_0 - KG = 9,96 \text{ ft}$$

$$G'M_0 = KB_0 + BM_0 - KG' = 10,83 \text{ ft}$$

$$G'M_{90} = BM_{90} - G'B_{90} = -3,25 \text{ ft}$$

$$b_1 = \left(\frac{9(G'B_{90} - G'B_0)}{8} \right) - \left(\frac{G'M_0 - G'M_{90}}{32} \right)$$

$$= 16,35 \text{ ft}$$

$$b_2 = \frac{G'M_0 + G'M_{90}}{8}$$

$$= 0,94 \text{ ft}$$

$$b_3 = \left(\frac{3(G'M_0 - G'M_{90})}{32} \right) - \left(\frac{3(G'B_{90} - G'B_0)}{8} \right)$$

$$= -4,28 \text{ ft}$$

$$G'Z' = b_1 \cdot \sin 2\phi + b_2 \cdot \sin 4\phi + b_3 \cdot \sin 6\phi = 1,490 \text{ ft}$$

$$GZ = G'Z' + GG' \sin \phi = 2,175 \text{ ft}$$

$$\phi = 5^\circ$$

Batasan yang digunakan untuk stabilitas menggunakan standar IS Code. Berikut adalah pemeriksaan hasil hitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya :

- Tinggi Metacentre (MG) pada sudut oleng 0° : tidak boleh kurang dari 0.15 m, hasil optimisasi MG = 3,04 m (**memenuhi**)

- Lengan stabilitas statis (GZ) pada sudut oleng $> 30^\circ$ tidak boleh kurang dari 0.20 m, hasil optimisasi GZ = 4,43 m (**memenuhi**)
- Lengan stabilitas statis (GZ) maksimum harus terjadi pada sudut oleng sebaiknya lebih dari 15° , hasil optimisasi GZ maks terjadi pada sudut $43,85^\circ$ (**memenuhi**)
- Luasan bidang yang terletak dibawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° sampai 40° tidak boleh kurang dari 0.02 m radian, hasil optimisasinya adalah 0,34 m.rad (**memenuhi**)
- Luasan kurva dibawah lengkung lengan statis (GZ) tidak boleh kurang dari 0.055 m radian sampai dengan 30° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 0,5835 m.rad dan tidak boleh kurang dari 0.09 m radian sampai dengan 40° sudut oleng, hasil optimisasinya adalah 0,9273 m.rad

5.5.5. Perhitungan trim

Adapun langkah-langkah perhitungan trim sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 KB/T &= 0,9 - 0,3C_m - 0,1C_b \\
 &= 0,52 \\
 KB &= KB/T \times T \\
 &= 1,14 \\
 C_1 &= 0.1216C_w - 0.041 \\
 &= 0,07 \\
 I_T &= C_1 \times L_{pp} \times B^3 \\
 &= 6704,60 \\
 BM_t &= I_T/v \\
 &= 5,14 \\
 C_{IL} &= 0.35C_w^2 - 0.405C_w + 0.146 \\
 &= 0,07 \\
 I_L &= C_{IL} \times B \times L_{pp}^3 \\
 &= 135706,99 \\
 BM_L &= I_L / V \\
 &= 104,09 \\
 GM_L &= BM_L + KB - KG \\
 &= 102,86 \\
 Trim &= T_a - T_f \\
 &= (LCG - LCB) \times L / GM_L \\
 &= 0,028
 \end{aligned}$$

Untuk trim harga mutlak selisih LCB dan LCG harus kurang dari 0,1 % L, atau dalam range $-5,751 \text{ m} < \text{trim} < 5,751 \text{ m}$ untuk perhitungan SPB ini. Dari hasil perhitungan didapat nilai trim sebesar 0,028 m dan mengalami trim buritan.

5.5.6. Perhitungan lambung timbul

Karena berlayar lokal hanya di Indonesia maka perhitungan lambung timbul dilakukan sebagai berikut:

- Tipe kapal

Tipe A = 1. Kapal yang didesain memuat muatan cair dalam bulk.

2. Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang equivalent.

3. Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.

- Freeboard standart

Yaitu freeboard yang tertera pada tabel freeboard standar sesuai dengan tipe kapal.

$Fb = 506,9 \text{ mm}$.

- Koreksi untuk kapal dibawah 100m (Fb_1)

Untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100 \text{ m}$ dan mempunyai superstructure tertutup dengan panjang efektif mencapai 35%L. barge ini tidak memiliki bangunan atas sehingga $Fb_1=0$.

- Koreksi koefisien blok (untuk kapal dengan $Cb > 0.68$)

$Fb_2 = fb \times (0.68 + Cb) / 1.36$

$= 83,108 \text{ mm}$

- Koreksi tinggi (Fb_3)

Koreksi dilakukan apabila $D > L/15$

$D = \text{tinggi kapal} = 2.67 \text{ meter}$

$L/15 = 3.083$; $D < L/15$ maka $Fb_3 = 0$

- Koreksi lengkung memanjang kapal

$A = 1/6(2.5 \times (L+30) - 100(Sf+Sa)) \times (0.75 - S/2L)$

$= 24,879 \text{ cm}$

$B = 0.125 \times L$

$= 6,913 \text{ cm}$

Jika $A > 0$, maka koreksi LMK = A

$A > 0$, dan $ABS > B$ maka koreksi LMK = -B

$A < 0$, dan $ABS < B$ maka koreksi LMK = A

Sf adalah tinggi lengkung memanjang pada FP

Sa adalah tinggi lengkung memanjang pada AP

S adalah panjang seluruh bangunan atas

- Lambung timbul minimum

Adalah penjumlahan dari semua koreksi untuk mendapatkan tinggi lambung timbul minimum

Freeboard standart = 506,9 mm

Koreksi koefisien blok = 83,108 mm

koreksi LMK = 24,879 mm

Lambung timbul (*Freeboard*) minimum = 496,30 mm

Dari perhitungan batasan yang telah dibuat didapat nilai lambung timbul minimum adalah 496,30 mm. Lambung timbul hasil iterasi yang didapatkan dari H – T didapat nilai 1,239,94 mm. Jadi lambung timbul *barge* telah memenuhi standar.

5.5.7. Perhitungan berat dan titik berat

Pendekatan komponen-komponen DWT diambil dari perhitungan (Watson, 1988), komponen-komponen DWT terdiri dari:

- Kebutuhan bahan bakar

- *Main Engine*

Seatime = 94,33 jam

Koefisien konsumsi = 0,085 ton/jam

Kebutuhan BB = 8,03 ton

Koreksi 10% = 0,80 ton

Total BB Main E = 8,83 ton

- *Auxiliary Engine*

Turn Around Time = 204,13 jam

Koefisien konsumsi = 0,02 ton/jam

Kebutuhan BB = 3,685 ton

Koreksi 10% = 0,369 ton

Total BB Aux. E = 4,054 ton

- Kebutuhan minyak pelumas

$$W_{\text{pelumas}} = (0,01 - 0,03) \times W_{\text{bahan bakar}} = 0,089 \text{ Ton/trip}$$

- Kebutuhan air tawar

Diambil rata-rata kebutuhan air tawar perhari 100 kg/orang, maka 5 hari membutuhkan 7,31 ton air untuk 15 orang *crew* dan pendingin mesin sebesar 5,17 ton. Jadi jumlah keseluruhan berat air tawar sebesar 12,48 ton.

- Berat orang dan bawaan

Jumlah crew adalah 15 orang dengan rata-rata 85 kg/orang, maka jumlah berat total crew sebesar 1,275 ton.

- Total berat DWT keseluruhan adalah 1027,5 ton

Pendekatan komponen-komponen LWT diambil dari perhitungan (Watson, 1988), komponen-komponen LWT terdiri dari:

- Berat baja

Dihitung menggunakan rumus $W_{st} = W_{si} \cdot (1 + 0.5(CB' - 0.70))$

Dimana: W_{si} = Berat bersih baja (ton)

CB' = koreksi $C_b > 0,7$

CB' = $CB + (1 - CB)((0.8D - T)/3.T)$

CB = Koefisien Blok kapal

H = Tinggi kapal (m)

T = Sarat kapal (m)

sehingga didapatkan nilai $W_{st} = 263,40$ ton

- Berat permesinan

- Berat ME = 7,2 ton

- Berat AE = 1,03 ton

- Dihitung dengan rumus $W_r = K \cdot MCR^{0.7}$.

Dimana: K = 0,72 untuk jenis *Oil Barge*

MCR = 490,33 kw

Maka W_r = 27,52 ton

Nilai total berat permesinan adalah 35,75 ton.

- Berat *outfitting dan equipment*

Perhitungan berat *outfitting* dan *Equipment* mengacu pada rumus pendekatan, sehingga didapat nilai berat *outfitting dan equipment* adalah 65,57 ton.

5.5.8. Fungsi obyektif

Fungsi obyektif dalam proses optimasi ini adalah biaya pembangunan kapal.

Biaya pembangunan kapal terdiri dari:

- Biaya pembuatan lambung kapal

$$P_{st} = W_{st} \times C_{st}$$

Dimana: P_{st} = Harga total pelat (\$)

W_{st} = Berat pelat = 263,40 (ton)

C_{st} = Pendekatan harga pelat termasuk jasa (\$/ton)

Tabel di bawah ini merupakan nilai regresi *structural cost*:

Tabel 5.8 Tabel regresi *Structural cost*

Structural Cost		Structural Cost	
X	Y	X	Y
446.11	4016.44	17000.00	1864.79
1000.00	3573.25	18000.00	1831.24
2000.00	3177.98	19000.00	1801.64
3000.00	2920.54	20000.00	1775.87
4000.00	2747.85	21000.00	1753.82
5000.00	2615.74	22000.00	1734.88
6000.00	2504.97	23000.00	1717.95
7000.00	2409.15	24000.00	1701.91
8000.00	2324.65	25000.00	1685.99
9000.00	2250.50	26000.00	1670.22
10000.00	2186.17	27000.00	1654.70
11000.00	2130.37	28000.00	1639.54
12000.00	2080.29	29000.00	1624.81
13000.00	2033.18	30000.00	1610.40
14000.00	1987.39	31000.00	1596.18
15000.00	1943.50	31275.60	1592.27
16000.00	1902.36		

Hasil Regresi:

Structural Cost

$$Y = a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e$$

$$a = 0.0000000000$$

$$b = -0.0000000011$$

$$c = 0.0000297990$$

$$\begin{aligned}
 d &= -0.3899111919 \\
 e &= 3972.1153341357 \\
 C_{st} &= 3,871.46 \quad (\$/\text{ton})
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat harga total pembuatan lambung kapal sebesar 1,019,748.84 \$ atau setara dengan 12,848,835,355 Rupiah

➤ Biaya *outfitting* dan *equipment*

$$P_{eo} = W_{eo} \times C_{eo}$$

Dimana: P_{eo} = Harga total perlengkapan (\$)
 W_{eo} = Berat perlengkapan = 65.57 (ton)
 C_{eo} = Pendekatan harga perlengkapan dan jasa (\$/ton)

Tabel di bawah ini merupakan nilai regresi *outfitting cost*:

Tabel 5.9 Tabel regresi *Outfitting cost*

Outfit Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y
108.51	18095.88	1750.00	13984.85
250.00	17691.55	2000.00	13396.41
500.00	16989.06	2250.00	12875.38
750.00	16278.67	2500.00	12456.51
1000.00	15634.41	2750.00	12042.50
1250.00	15106.22	3000.00	11581.38
1500.00	14539.63	3106.81	11388.14

Hasil regresi:

Outfit Cost

$$\begin{aligned}
 Y &= a X^4 + b X^3 + c X^2 + d X + e \\
 a &= 0 \\
 b &= -0.0000001095 \\
 c &= 0.0004870798 \\
 d &= -3.1578067922 \\
 e &= 18440.6636505112 \\
 C_{eo} &= 18,236 \quad (\$/\text{ton})
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat harga total perlengkapan sebesar 1,195,715.50 \$ atau setara dengan 15,066,015,342.25 Rupiah.

➤ Biaya permesinan

$$P_{me} = W_{me} \times C_{me}$$

Dimana: P_{me} = Harga total permesinan (\$)

W_{me} = Berat permesinan = 35.75 (ton)

C_{me} = Pendekatan harga permesinan dan jasa (\$/ton)

Tabel di bawah ini merupakan nilai regresi *outfitting cost*:

Tabel 5.10 Tabel regresi *Machinery cost*

Machinery Cost	
X	Y
0.00	20000.00
250.00	17404.86
500.00	15223.74
750.00	13526.95
1000.00	12207.74
1250.00	11254.79
1500.00	10651.59
1750.00	10236.66
2000.00	9849.90
2250.00	9481.23
2486.79	9246.10

Hasil regresi:

Machinery Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

$$a = -0.0000000001$$

$$b = -0.0000002814$$

$$c = 0.0041959716$$

$$d = -11.6043551506$$

$$e = 20016.8963585246$$

$$C_{eo} = 19,607.393 \text{ ($/ton)}$$

Sehingga didapat harga total perlengkapan sebesar 700,959.058 \$ atau setara dengan 8,832,084,132.30 Rupiah.

➤ *Non-weight cost*

Biaya ini merupakan biaya-biaya yang tidak dapat dikelompokkan dengan ketiga grup biaya sebelumnya. Contohnya:

- Biaya untuk *drawing office labour and overhead*.
- Biaya untuk biro klasifikasi dan Departemen Perhubungan.
- Biaya konsultasi.
- Biaya lain – lain.

Rumus pendekatan *Non-weight cost* adalah sebagai berikut:

$$P_{nw} = C_{nw} \cdot (P_{st} + P_{eo} + P_{me})$$

Dimana:

P_{nw} = Biaya tambahan (\$)

$$C_{nw} = \begin{cases} 7.5\% \sim 12.5\% & \Rightarrow \text{untuk kapal atau galangan kecil} \\ 10\% & \Rightarrow \text{untuk kapal atau galangan besar} \end{cases}$$

$$C_{nw} = 10\%$$

Sehingga didapat *Non-weight cost* sebesar 291,642.34 \$ atau setara dengan 2,621,864,635.842 Rupiah.

➤ Total biaya

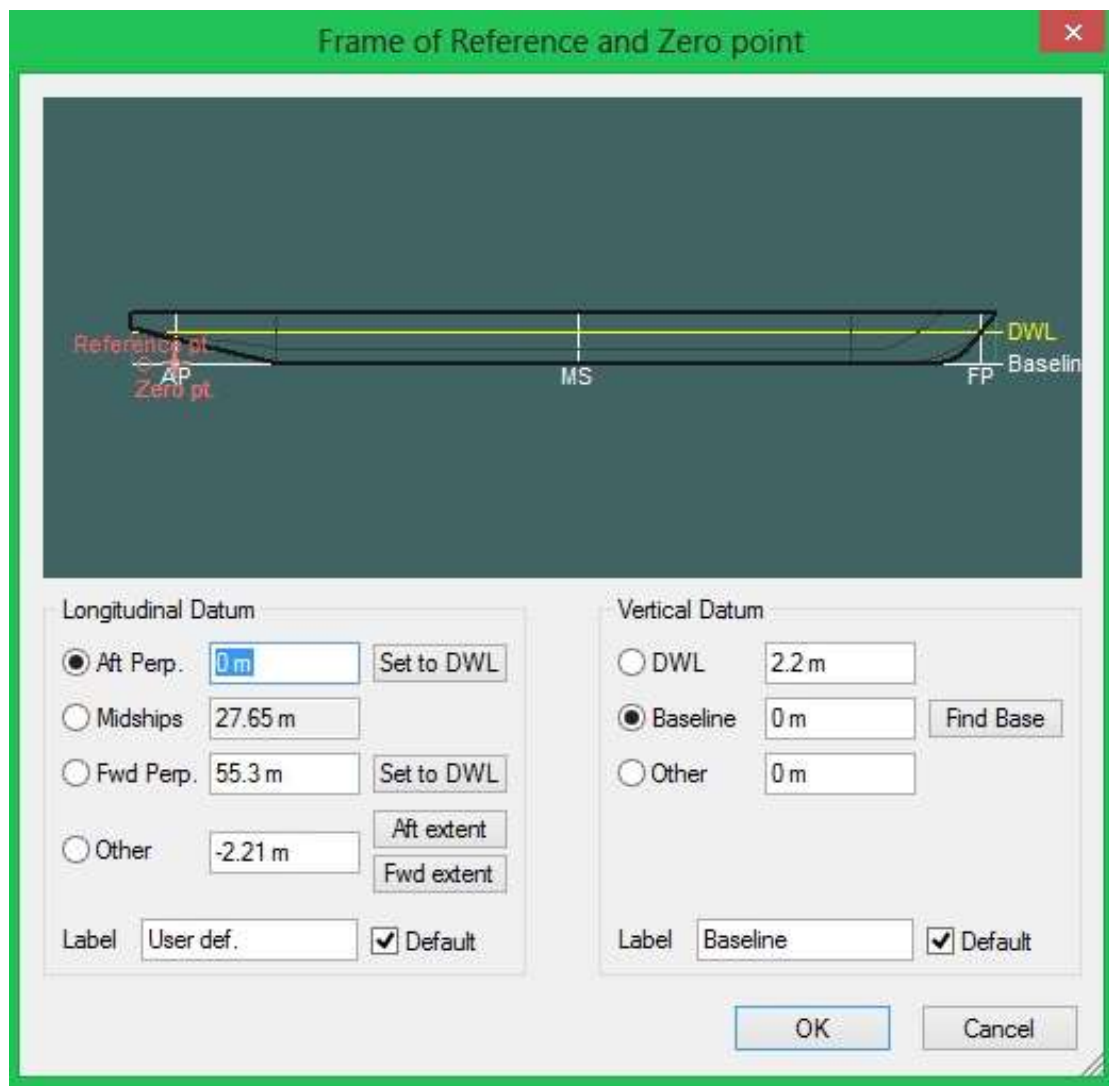
Dari penjumlahan ke empat komponen tersebut didapatkan biaya pembangunan kapal, yaitu sebesar 2,916,423.399 \$ atau setara dengan 36,746,934,829.379 Rupiah.

5.6. Pembuatan Rencana Garis

Untuk merancang sebuah kapal maka yang pertama dilakukan adalah pembuatan Rencana Garis. Dalam pembuatan Rencana Garis ini digunakan *software Maxsurf 20*. Caranya adalah dengan perpaduan antara *Maxsurf* dengan *AutoCAD*. Pada Program *software Maxsurf* tersebut juga disediakan beberapa desain dasar kapal, seperti *Tanker Bow, series 60, ship 1, ship 2, ship 3* dan sebagainya. Dengan memanfaatkan desain dasar tersebut (berupa bagian bentuk kapal), maka bisa dibuat bagian kapal lainnya dengan menggunakan bentuk-bentuk dasar seperti model kapal yang dipilih.

Rencana Garis untuk barge ini dibuat dengan memodelkan desain awalnya dengan membuat *surface model box*. Kemudian membuat model menjadi desain yang diinginkan dengan tidak mengurangi dasar-dasar gambar barge. Sehingga diperoleh gambaran karakteristik awal model.

Dari model kemudian dimasukkan ukuran yang diinginkan, maka bentuk garis baru telah didapatkan. Penggunaan metode ini harus memperhatikan beberapa aspek. Yaitu tipe kapal, C_b , dan L_{cb} . Rencana Garis yang akan dibuat tidak boleh memiliki nilai C_B dan L_{cb} yang berbeda jauh dari desain awal. Kemudian dilakukan penentuan *zero point*. Pada perancangan ini *zero point* ditentukan pada *base line* di AP. Selanjutnya *zero point* tersebut diaplikasikan ke desain. Pada proses ini dilakukan juga penentuan sarat *barge* dan penentuan panjang *perpendicular*.



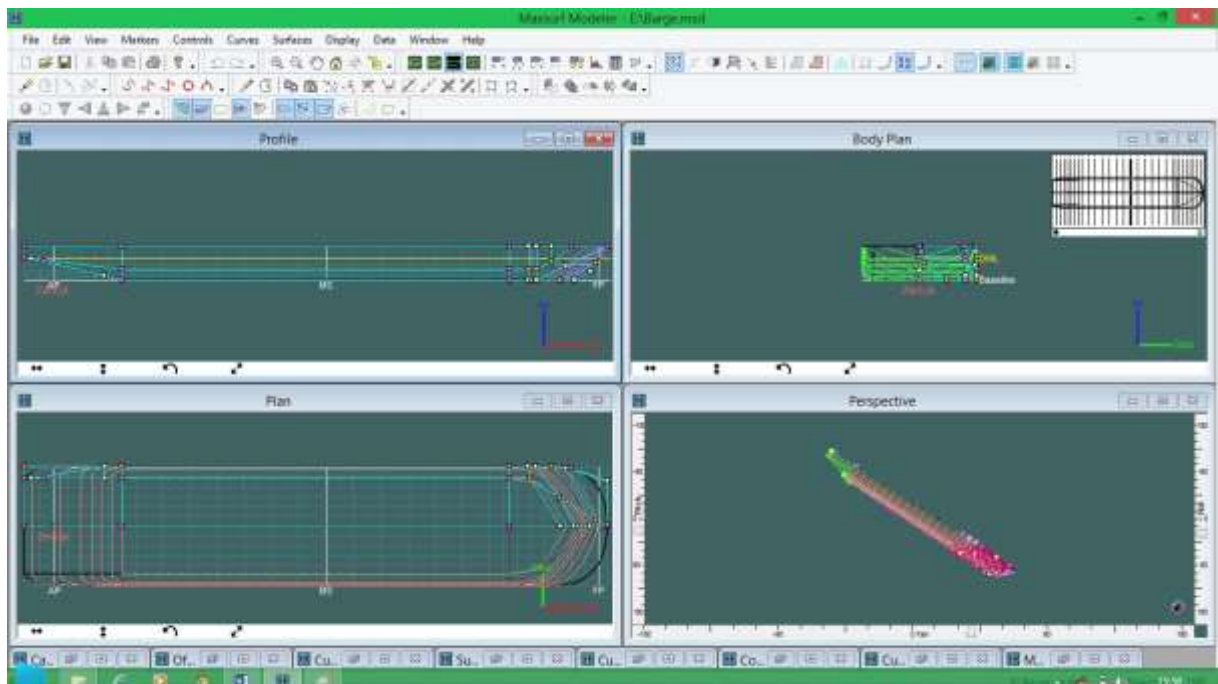
Gambar 5.7 *Parametric transformations*
(Sumber: Data Software)

Gambar 5.7 pada halaman sebelumnya adalah proses *parametric transformation*. Dengan memasukkan batasan yang sesuai perhitungan, maka *Maxsurf* akan menentukan bentuk kapal yang sesuai dengan perhitungan tersebut.

Pada gambar hasil *Maxsurf* tersebut terdapat point-point yang digunakan untuk menentukan bentuk lines plan kapal, point-point tersebut bisa di pindah-pindah sehingga bentuk lines plan dapat sesuai dengan yang diinginkan. Tetapi jika point-point tersebut di pindah maka nilai-nilai ukuran utama dan koefisien-koefisiennya akan berubah. Dalam *maxsurf* bisa melihat nilai-nilai ukuran utama dan koefisien-koefisien kapal setelah diubah.

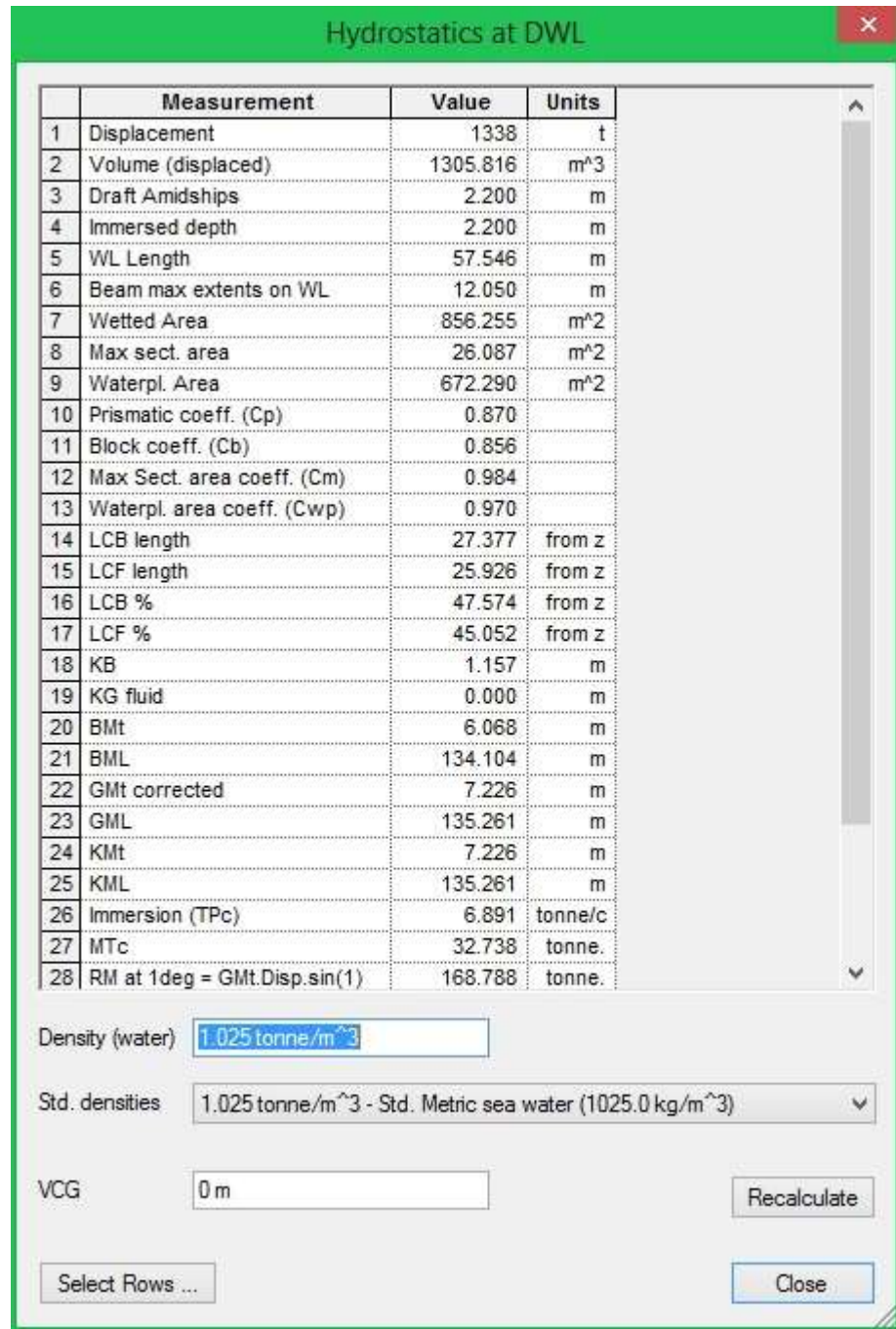
Penentuan jumlah *waterline*, *buttock line*, dan *station* ditentukan di *maxsurf*. Dengan memasukkan jumlah garis dan jarak antar garis pada *data-grid spacing*, maka bentuk *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* bisa terlihat dengan jelas. Ditentukan jumlah station yaitu 20 buah termasuk AP dan FP. Dengan jarak *station* 2,765 m. Jumlah *waterline* ditentukan 7 buah. Dengan jarak *waterline* 1 m dan sarat 2,20 m. Untuk jumlah garis *buttock* ditentukan 7 buah dengan jarak 1 meter termasuk garis terluar selebar barge.

Setelah semua langkah–langkah di atas dilaksanakan maka tampilan secara keseluruhan desain barge dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 5.8 Pembuatan *lines plans* dengan *Maxsurf 20*
(Sumber: Data Olahan)

Dari model tersebut juga bisa langsung diketahui bagaimana karakteristik badan kapal model. Nilai yang muncul harus sama atau setidaknya mendekati nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan. Adapun karakteristik model tersebut seperti tampak pada gambar 5.9 di bawah ini.



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	1338	t
2	Volume (displaced)	1305.816	m ³
3	Draft Amidships	2.200	m
4	Immersed depth	2.200	m
5	WL Length	57.546	m
6	Beam max extents on WL	12.050	m
7	Wetted Area	856.255	m ²
8	Max sect. area	26.087	m ²
9	Waterpl. Area	672.290	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.870	
11	Block coeff. (Cb)	0.856	
12	Max Sect. area coeff. (Cm)	0.984	
13	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.970	
14	LCB length	27.377	from z
15	LCF length	25.926	from z
16	LCB %	47.574	from z
17	LCF %	45.052	from z
18	KB	1.157	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMT	6.068	m
21	BML	134.104	m
22	GMt corrected	7.226	m
23	GML	135.261	m
24	KMt	7.226	m
25	KML	135.261	m
26	Immersion (TPc)	6.891	tonne/c
27	MTc	32.738	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	168.788	tonne.

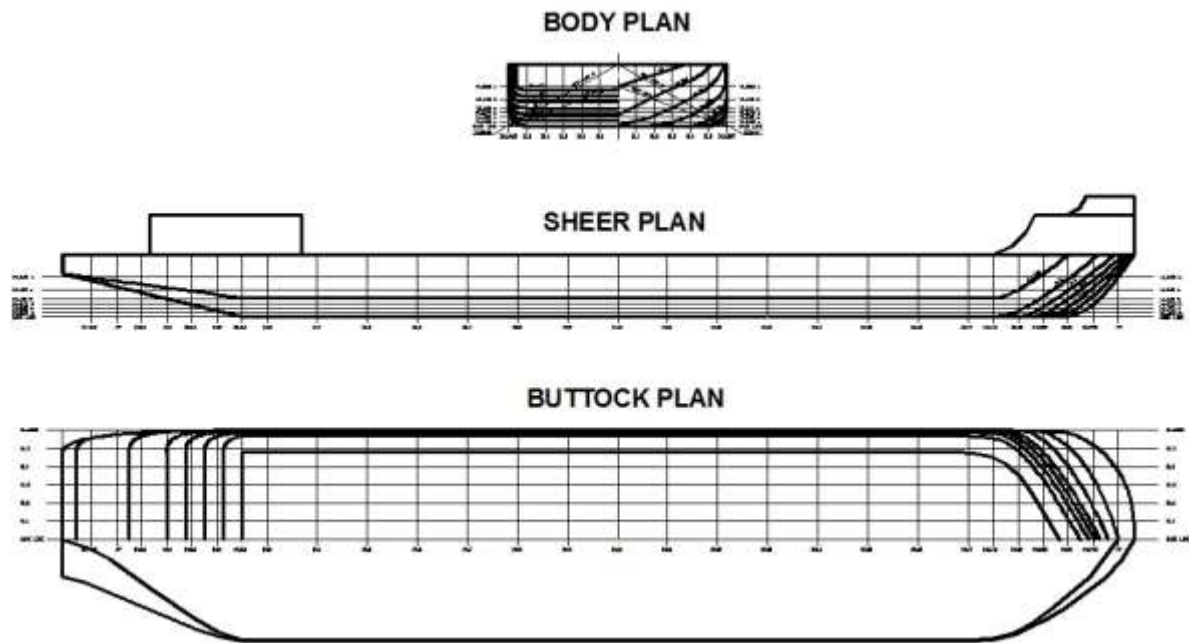
Density (water)

Std. densities

VCG

Gambar 5.9 Nilai hidrostatik model
(Sumber: Data Olahan)

Dari model gambar *body plan*, *sheer plan*, dan *half breadth plan* kemudian diekspor ke dalam *Software AutoCAD* untuk kemudian diperhalus tampilannya. Sehingga didapatkan gambar Rencana Garis sebagai berikut:



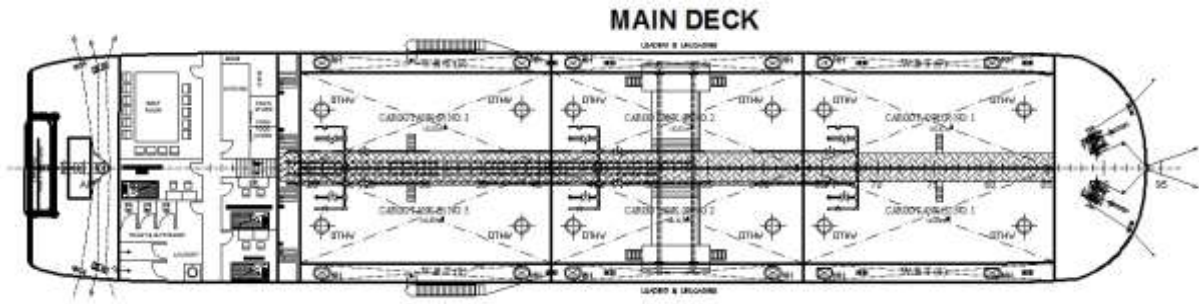
Gambar 5.10 Rencana Garis

5.7. Pembuatan Rencana Umum

Setelah rencana garis selesai dibuat, selanjutnya adalah pembuatan rencana umum. Rencana Umum berisi perencanaan peletakan muatan, peletakan perlengkapan dan peralatan, pembagian sekat, dan sebagainya. Berikut adalah beberapa pertimbangan yang dilakukan dalam pembuatan Rencana Umum.

5.7.1. Ruang muat

Self-Propelled Barge pengangkut limbah minyak cair ini memiliki desain ruang muat yang sama dengan kapal tanker. Untuk menjaga keamanan dan keselamatan, kapal ini juga dilengkapi *double hull*. Lebar masing-masing *double hull* adalah sebesar 1 m dan terdapat disepanjang ruang muat. Pada geladak kapal ini selain terpasang sistem perpipaan ruang muat juga terdapat *bridge* yang menghubungkan antara *main deck* dengan *forecastle*. Pemasangan jembatan ini berfungsi sebagai media yang bisa digunakan oleh *crew* berjalan menuju *forecastle* tanpa terganggu oleh sistem perpipaan ruang muat.



Gambar 5.10 Main deck

(Sumber: Software CAD)

5.7.2. Penentuan sistem perpipaan

Dalam menentukan sistem perpipaan yang akan digunakan terlebih dahulu harus mengetahui ada berapa jenis penataan pipa untuk kapal yang mengangkut muatan cair. Secara umum ada tiga jenis penataan pipa yang sering digunakan, yaitu sistem lingkaran pipa utama (*Ring main system*), sistem langsung (*Direct system*), dan *Free flow system*. Sistem perpipaan yang digunakan untuk *Self-propelled Barge* ini adalah *Ring main system*. Hal ini dikarenakan kapal ini mengangkut satu jenis muatan yaitu limbah minyak.

Ada dua pipa penghisap yang ukurannya berbeda di satu kapal, dan masing-masing pipa memakai pompa sendiri. Jarak antara pipa yang kecil ke dasar tangki adalah 15-20 mm, jarak antara pipa besar ke dasar tangki adalah 100-150 mm. Ada dua pipa yang berbeda adalah untuk mempermudah pengeluaran minyak dari tangki dan untuk memperpanjang umur pompa, karena jika muatan hampir habis tapi tetap menggunakan pipa yang besar maka akan ada udara yang ikut terpompa.

5.7.3. Sistem propulsi

SPB yang dirancang memiliki bentuk yang khusus. Bentuk yang biasa pada Barge adalah memiliki nilai C_b yang besar antara 0.8 – 1, selain itu memiliki tinggi draft yang kecil sehingga harus menggunakan alat gerak atau *propulsion system* yang khusus pula. Jenis *propulsion system* yang paling banyak digunakan adalah jenis *azimuth system*. Kapal ini menggunakan sistem propulsi *Z-drive system* dikarenakan bentuk kemiringan buritan. Sistem ini memiliki ciri yang unik yaitu pembelokan arah poros sehingga antara propeller dan mesin tidak dalam satu garis. Hal ini dimungkinkan karena menggunakan sistem ini dapat digunakan pada kapal yang memiliki draft yang kecil.

5.7.4. Peletakan sekat

Sekat yang direncanakan ada 3 macam yaitu sekat melintang kedap, sekat tubrukan, dan sekat memanjang kedap. Perencanaan sekat telah dilakukan pada waktu perhitungan berat konstruksi. Untuk sekat tubrukan dipasang 2.7 meter dari FP. Ini telah sesuai dengan jarak maksimal yang diberikan kelas yaitu $0,05L$. Pada peletakan sekat kedap melintang terpasang dengan jarak tiap sekat sepanjang 13 meter. Jarak ini tidak melebihi jarak maksimum yang dibolehkan kelas yaitu $0.153 \cdot L + 3.81$ (meter). Yang terakhir untuk pertimbangan pemasangan sekat memanjang yaitu dengan perbandingan B/H yang mencapai nilai 3.5. Hal ini dianjurkan kelas untuk dipasang sekat memanjang untuk menunjang kekuatan kapal secara memanjang. Pada barge ini terpasang 1 sekat memanjang, 5 sekat kedap melintang, dan 1 sekat tubrukan.

5.7.5. Perencanaan lampu navigasi

Perencanaan lampu mengacu pada COLREG. Untuk barge yang ditarik harus memiliki minimal towing light, side light, anchor light dan stern light.

- Anchor Light

Anchor light terletak di bagian haluan kapal, dengan ketentuan sebagai berikut :

- Jumlah 1 buah.
- Sudut 360° pada bidang horisontal.
- Dapat dilihat pada jarak minimal 3 mil.

- Side light.

Side light terletak di bagian ujung tepi haluan, dengan terpasang pada kedua sisi kapal :

- Pada lambung sisi kanan berwarna hijau.
- Pada lambung sisi kiri berwarna merah.
- Bersudut $112,5^\circ$ dari sisi lambung ke arah luar.
- Dapat dilihat sejauh 2 mil dari depan kapal.

- Stern Light

Stern light terletak di bagian belakang kapal. Pada barge ini terpasang stern light tepat pada geladak centerline buritan.

- warna lampu putih berjumlah 1 buah.
- Sudut 135° pada bidang horisontal.
- Dapat dilihat pada jarak minimal 2 mil.

5.7.6. Penentuan sistem keselamatan

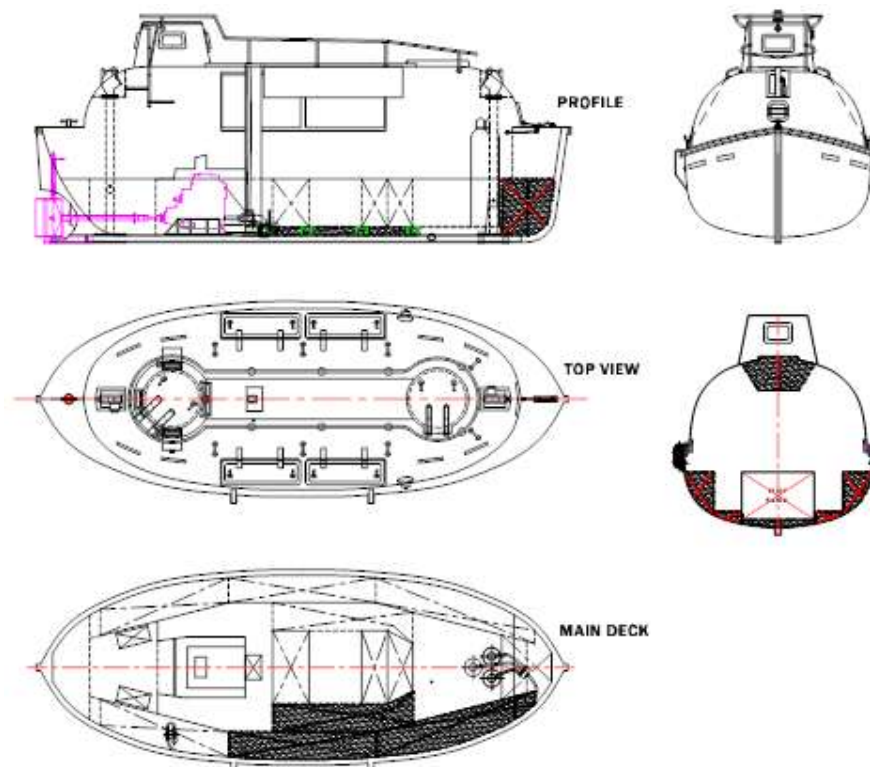
Untuk alat-alat keselamatan perencanaan didasarkan pada "SOLAS 74/78". Adapun beberapa peralatan keselamatan yang digunakan antara lain :

☐ Sekoci Penolong

Untuk Sekoci Penolong, dalam perencanaan digunakan tipe *davit* yang seluruhnya tertutup (*Totally Enclosed Lifeboat*). Sekoci terletak pada *main deck* dan dipasang pada posisi tengah-tengah. Jenis sekoci seperti pada gambar 5.11 di bawah ini.

Data *Life Boat*:

- Type : G-F4K-FP
- Dimensi : 6.28 x 2.4 x 1.03 m
- Kapasitas : 20 orang
- Berat kosong (saat tak terpakai) : 3210 kg
- Berat saat terpakai : 5235 kg



Gambar 5.11 Sekoci Penolong

☐ Pelampung Penolong (*Lifebuoy*)

Adapun ketentuan-ketentuan dalam menentukan pelampung adalah sebagai berikut:

- a. Kapal dilengkapi dengan pelampung sebanyak 20 buah, 10 buah dilambung kanan dan 10 buah dilambung kiri.

- b. Warnanya cerah dan mudah dilihat, harus mampu menahan di air tawar selama 24 jam.
- c. Diletakkan pada dinding dan kubu-kubu serta dilengkapi tali.
- d. Dilengkapi dengan lampu yang bisa menyala secara otomatis jika jatuh ke laut pada malam hari.
- e. Diletakan ditempat yang mudah dilihat dan dijangkau.

❑ **Baju Penolong (*Life Jacket*)**

Adapun ketentuan-ketentuan yang digunakan untuk menentukan baju penolong adalah sebagai berikut:

- a. Setiap ABK dilengkapi dengan satu baju penolong.
- b. Baju penolong disimpan di tiap lemari dari ABK
- c. Life jacket harus mampu menahan dalam air tawar selama 24 jam, berat 7,5 kg besi.
- d. Jumlah baju penolong = Jumlah ABK + 5%

$$= 15 + 1$$

$$= 16 \text{ buah}$$

❑ **Tanda- Tanda Bahaya dengan Sinyal atau Radio**

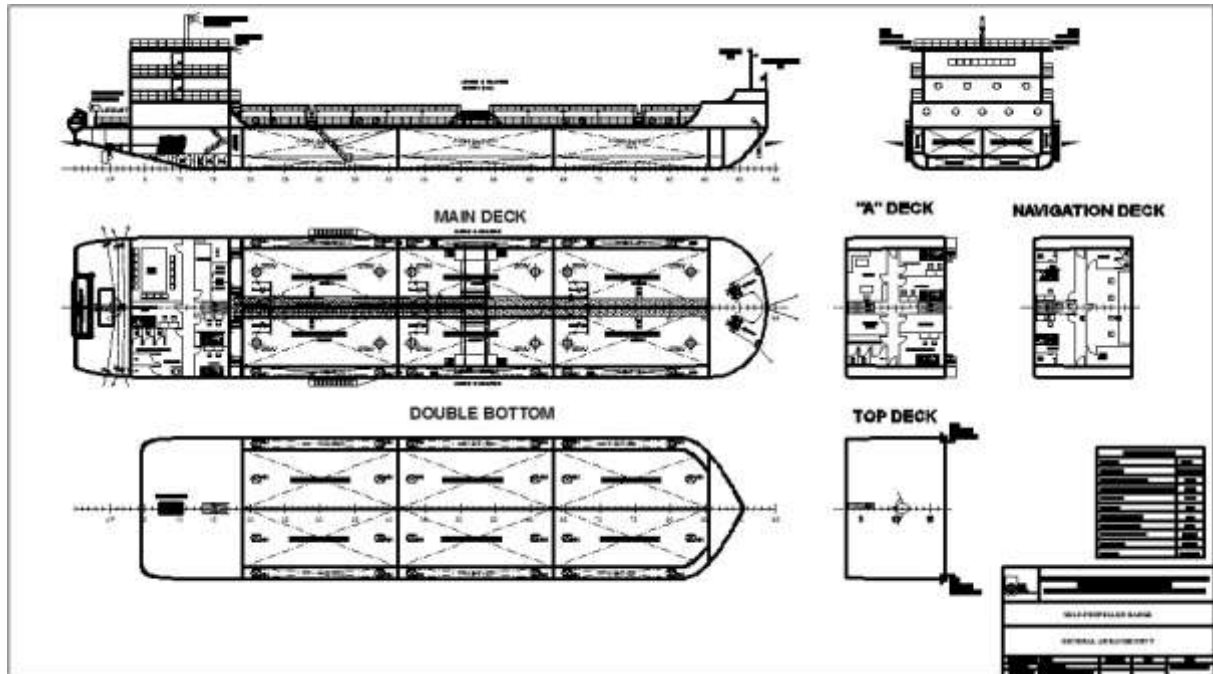
Kapal dilengkapi dengan tanda bahaya. Untuk menunjukkan tanda bahaya bisa menggunakan sinyal ataupun radio. Tanda bahaya yang berupa sinyal seperti:

- Lampu menyala
- Asap
- Roket
- Lampu sorot
- Cermin

❑ **Alat Pemadam Kebakaran**

Alat pemadam kebakaran diletakkan di tempat-tempat yang memungkinkan terjadinya kebakaran, misalnya pada gang, kamar mesin ataupun dapur. Ada berbagai tipe, umumnya seperti yang ada di darat. Sistem pemadam kebakaran berupa foam. Sistem ini dibuat dalam tangki khusus foam dan pembuatannya dapat dilakukan di atas kapal. Selain itu terdapat juga sistem pemadan kebakaran berupa pompa air. Kecepatan dan tekanan pompa harus mampu mencapai deck teratas dan saluran selang terdapat pada tiap deck.

Berdasarkan perencanaan peletakan muatan, peletakan perlengkapan dan peralatan, pembagian sekat serta mempertimbangkan beberapa hal lainnya, maka didapatkan desain Rencana Umum akhir dari *Self-Propelled Barge* seperti tampak pada gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.12 Rencana Umum *Self-Propelled Barge* pengangkut minyak

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Penentuan pola operasi menghasilkan rute pelayaran *Self-Propelled Barge* yaitu dengan membagi daerah pelayaran menjadi dua kawasan, yaitu kawasan barat dan kawasan timur. Untuk rute kawasan barat adalah dari Pelabuhan Tanjung Perak (A) menuju ke Pelabuhan Tanjung Emas kemudian ke Pelabuhan Gresik, ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan membawa seluruh muatan ke Fasilitas Apung pengolah limbah minyak yang ada di Teluk Lamong.

Sedangkan untuk rute pelayaran kawasan timur adalah dari Fasilitas Apung pengolah limbah minyak langsung menuju ke Pelabuhan Lembar Lombok selanjutnya ke Pelabuhan Benoa Bali ke Pelabuhan Tanjung Wangi Banyuwangi ke Pelabuhan Tanjung Tembaga Probolinggo ke Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dan berakhir di Fasilitas Apung pengolah limbah minyak. Untuk satu kali perjalanan yang mencakup kawasan timur dan kawasan barat *Self-Propelled Barge* tersebut berlayar selama 9 hari dengan jarak tempuh 954 Nm.

Dari hasil analisis perbandingan kedua skenario yang telah dibuat, didapat *payload Self-Propelled Barge* sebesar 1000 ton.

2. Dari hasil perhitungan dan analisis, didapat ukuran utama *self-propelled barge* untuk pengangkut limbah minyak di kawasan Pelabuhan Indonesia III yaitu :
 - Lpp : 55.30 m
 - B : 12.05 m
 - H : 3.44 m
 - T : 2.20 m

Dengan fungsi obyektif biaya pembangunan kapal sebesar 2,916,423.399 US \$ atau setara dengan 36,746,934,829.379 Rupiah.

Dari kondisi muatan yang diberikan, diketahui bahwa SPB tersebut memenuhi persyaratan teknis dari pembangunan sebuah kapal yaitu batasan trim, freeboard, displasemen, dan stabilitas.

3. Rencana Garis dan Rencana Umum dapat dilihat pada Lampiran B dan C

6.2. Saran

Mengingat masih banyaknya perhitungan yang dilakukan dengan pendekatan estimasi sederhana, maka agar lebih sempurna disarankan untuk memperhatikan beberapa proses perencanaan mengenai :

1. Perlu dibuat beberapa skenario tambahan dalam menentukan *payload* supaya didapatkan *payload* yang jauh lebih efektif.
2. Perencanaan sistem bongkar muat untuk direncanakan dengan lebih detail. Sehingga diketahui lamanya bongkar muat yang mempengaruhi waktu tempuh perjalanan.
3. Untuk penelitian selanjutnya, dikaji untuk penanganan limbah kering atau sampah. Perlu diadakan tinjauan kembali mengenai permintaan untuk sampah kering yang kebanyakan dihasilkan oleh jenis kapal penumpang.
4. Perlu dilakukan kajian serta perancangan *Self-Propelled Barge* untuk melayani pelabuhan-pelabuhan yang terletak di pulau-pulau besar seperti Kalimantan dan Sulawesi, karena potensi dari debit limbah minyak di pelabuhan tersebut juga besar dan harus ditangani.

DAFTAR PUSTAKA

ABS. 2009. *“Rules For Building And Classing Steel Barge”*.

Eryanto, Evan, *Analisis Penanganan Limbah Minyak di Kawasan Pelabuhan: Tinjauan Dari Segi Transportasi Laut*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya, 2012

Handoyo, Bayu, *Perancangan Self-Propelled Barge (SPB) Sebagai Sarana Transportasi Angkutan Kayu Pengganti Tongkang Rute Kalimantan-Semarang*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya, 2010

Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2007). *Fasilitas Pengumpulan dan Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di Pelabuhan*. Jakarta : Pemerintah Republik Indonesia.

Lewis, E. V. 1989. *Principles of Naval Architecture Volume II*. 601 Pavonia Avenue, Jersey City, USA: SNAME.

Manning. 1968. *The Theory and Technique of Ship Design*. The Massachusetts Institute of Tecnology and John wiley & sons Inc, New york.

Mulya, Harryadi, *Analisa Teknis dan Ekonomis Pembangunan Self-Propelled Barge Batubara Dari Sumatera Selatan Untuk Menunjang Operasi PLTU Suralaya*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya, 2007.

Parsons, Michael G. 2001 . *Chapter 11, Parametric Design* . Univ. of Michigan: Dept. of naval Architecture and Marine Engineering.

Rao. 1996. *Engineering Optimization Theory and Practice*. USA: Wiley-Interscience.

Santosa, IGM, *Diktat Kuliah Perancangan Kapal*, ITS, Surabaya, 1999

Schneekluth, H and V. Bertram . 1998 . *Ship Design Efficiency and Economy, Second edition* . Oxford, UK : Butterworth Heinemann.

Setijoprojudo. 1991. *Ship Design Economics*. Surabaya.

Tabaczek, Tomas. 2007. *“Analysis of hull resistance of pushed barges in shallow water”*. POLISH MARITIME RESEARCH 1(51) 2007 Vol 14; pp. 10-15 DOI: 10.2478/v10012-007-0002-4.

Utama, Danu, *Perancangan Integrated Tug-Barge (ITB) Pengangkut CNG (Compressed Natural Gas) Yang Sesuai Untuk Perairan Sembakung-Nunukan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya, 2013

Watson, David G.M. 1998. *Practical ship Design, Volume I*. Oxford, UK: Elsevier Science Ltd.

Wicaksana, A.P, *Desain Konseptual Kapal Desalinasi untuk Wilayah Kepulauan*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, FTK, ITS, Surabaya 2012.

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN TEKNIS KAPAL

PENENTUAN PAYLOAD

Skenario Pertama

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	122.34	124.79
Probolinggo	0.74	0.76
Banyuwangi	7.82	7.97
Benoa	8.21	8.37
Lembar	4.91	5.84
Total	144.02	147.73

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Emas	32.94	33.6
Gresik	29.3	29.88
Total	62.24	63.48

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	720.1	738.65
6	864.12	886.38
7	1008.14	1034.11
8	1152.16	1181.84
9	1296.18	1329.57
10	1440.2	1477.3

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	311.2	317.4
6	373.44	380.88
7	435.68	444.36
8	497.92	507.84
9	560.16	571.32
10	622.4	634.8

Payload = **1329.57** Ton

Payload = **571.32** Ton

Sehingga payload yang digunakan adalah sebesar **1400** Ton

Skenario kedua

Dalam variasi Collecting time sebagai variable peubah, payload pada masing-masing lama waktu penumpukan juga mengalami perubahan.

Untuk Kawasan Timur

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	81.45	83.08
Probolinggo	0.74	0.75
Banyuwangi	7.82	7.98
Benoa	8.21	8.37
Lembar	4.91	5.01
Total	103.13	105.2

Untuk Kawasan Barat

Pelabuhan	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³ /Hari	Ton/Hari
Tanjung Perak	40.89	41.71
Tanjung Emas	32.94	33.60
Gresik	29.30	29.89
Total	103.13	105.2

Jarak kawasan timur : 566 Nm

Jarak kawasan Barat : 388 Nm

Collecting Time	Jumlah Limbah Minyak	
	m ³	Ton
5	515.650	525.963
6	618.780	631.156
7	721.910	736.348
8	825.040	841.541
9	928.170	946.733
10	1031.300	1051.926

Dari tabel disamping bisa di ketahui besarnya payload sesuai dengan lama waktu penumpukan, yaitu sebesar **946.73** ton = **1000** ton

Setelah *Payload* Diketahui maka DWT kapal juga diketahui, Yaitu didapat dari *payload* ditambah 10%

$$\begin{aligned}
 \text{DWT} &= \text{Payload} + (10\% \times \text{Payload}) \\
 &= 1000 + (10\% \times 1000) \\
 &= \mathbf{1100} \quad [\text{Ton}]
 \end{aligned}$$

Payload = **946.73** Ton

KAPAL PEMBANDING

DWT = 1100 Ton

SPOB	DWT (Ton)	Principle Dimension				Rasio				
		Lpp (m)	B (m)	H (m)	T (m)	L/B	L/H	B/H	B/T	H/T
SPOB 1	1500	62	13.8	3.2	2.15	4.49	19.38	4.31	6.42	1.49
SPOB 2	1500	59.8	13.8	3.25	2.15	4.33	18.40	4.25	6.42	1.51
SPOB 3	1690	55.3	13	4.3	3.58	4.25	12.86	3.02	3.63	1.20
SPOB 4	1500	62	13.8	3.2	2.15	4.49	19.38	4.31	6.42	1.49
SPOB 5	1800	76.7	14.5	5.8	3.6	5.29	13.22	2.50	4.03	1.61
SPOB 6	1700	65.28	15.03	3.3	2.46	4.34	19.78	4.55	6.11	1.34
SPOB 7	1555	69.5	17	4.5	2.8	4.09	15.44	3.78	6.07	1.61
SPOB 8	1700	56	13.8	3.2	2.2	4.06	17.50	4.31	6.27	1.45
SPOB 9	1300	62.7	12	3.3	2.7	5.20	19.00	3.65	4.46	1.22
MIN		55.3	12	3.2	2.15	4.06	12.86	2.50	3.63	1.20
MAX		76.7	17	5.8	3.6	5.29	19.78	4.55	6.42	1.61

Ukuran Utama

Lpp = 62.7 m

B = 12 m

H = 3.3 m

T = 2.7 m

PROSES OPTIMASI PERENCANAAN SELF-PROPELLED BARGE

Variabel							
	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Ukuran Utama	Panjang	m	L	55.30	55.30	76.70	OK
	Lebar	m	B	12.05	12.05	17.00	OK
	Tinggi	m	H	3.20	3.44	5.80	OK
	Sarat	m	T	2.15	2.20	3.60	OK
	Kecepatan kapal	Kn	Vs	0	6		OK

Batasan							
Syarat Teknis	Item	Unit	Symbol	Min	Value	Max	Remark
Froude Number	$F_n = V/(g \cdot L_{pp})^{0.5}$			0	0.13	0.22	OK
Stabilitas	MG pada sudut oleng 0^0	m	MG_0	0.15	3.04		OK
	Lengan statis pada sudut oleng $>30^0$	m	LS_{30}	0.2	4.43		OK
	Sudut kemiringan pada L_s maksimum	deg	L_{smaks}	25	43.85		OK
	Lengan dinamis pada 30^0	m.rad	Ld_{30}	0.055	0.583		OK
	Lengan dinamis pada 40^0	m.rad	Ld_{40}	0.09	0.927		OK
	Luas Kurva GZ antara $30^0 - 40^0$	m.rad		0.03	0.34		OK
Freeboard	F_s	m	F	0.50	1.24		OK
Displacement	Koreksi displacement	%		0.00%	5.00%	5.00%	OK
Trim	Selisih Trim	%		-5.751%	0.050%	5.751%	OK
Rasio	Hambatan		L/B	4.06	4.59	5.29	OK
	Stabilitas		B/T	3.63	5.47	6.42	OK
	Freeboard		H/T	1.20	1.56	1.61	OK
	Kekuatan memanjang		L/H	12.86	16.06	19.78	OK
	Stabilitas		B/H	2.50	3.50	4.55	OK
Ruang Muat	Selisih Kapasitas Ruang Muat	%		0.00%	0.00%	1%	OK

Fungsi Obyektif				
	Item	Unit	Symbol	Value
	Biaya Pembangunan Kapal	US \$		2,916,423

Konstanta				
	Item	Unit	Symbol	Value
	Massa Jenis Air Laut	ton/m ³	ρ air laut	1.025
	Massa Jenis Air Tawar	ton/m ³	ρ air tawar	1
	Massa Jenis Bahan Bakar (MFO)	ton/m ³	ρ mfo	0.85
	Massa Jenis Bahan Bakar (MDO)	ton/m ³	ρ mdo	0.85
	Radius Pelayaran	mil		35
	Kecepatan Relatif Angin	Knot	Va	8
	Kedalaman Perairan (minimal)	m		5
	Massa Jenis Minyak Pelumas	ton/m ³	ρ lub	0.92
	Gaya Gravitasi	m/s ²	g	9.81
	Massa Jenis Baja	kg/m ³	ρ baja	7,850

Kalkulasi				
	Item	Unit	Symbol	Value
Kapasitas	Displacement	Ton	Δ	1336.306
	Deadweight	Ton	856.7494121	1027.46
	Lightweight	Ton	LWT	375.66
	Total Berat	Ton	DWT+LWT	1403.12
	Selisih displacement-berat	%		0.00
LWT	Hull	Ton	W _{st}	263.402
	Hull Equipment & Outfitting	Ton	W _{eo}	65.570
	Berat Cadangan	Ton	W _{res}	10.9
Koefisien	Koefisien Prismatic		Cp	0.857
	Koefisien Midship		Cm	0.996
	Koefisien garis air		Cw	0.907
	Koefisien blok		Cb	0.854
Titik Berat	Tinggi Titik Berat	m	KG	2.366
	Jarak titik berat dari FP	m	LCG	-24.213
Titik Apung	Tinggi Titik Apung	m	KB	1.14
	Jarak titik apung dari FP	m	LCB	-24.01

Perhitungan Koefisien

$L_o = 55.30 \text{ m}$
 $H_o = 3.44 \text{ m}$
 $B_o = 12.05 \text{ m}$
 $T_o = 2.20 \text{ m}$
 $F_n = 0.133$

$L_o/B_o = 4.589$
 $B_o/T_o = 5.470$
 $T_o/H_o = 0.640$
 $V_s = 3.086 \text{ m/s}$
 $\rho = 1.025 \text{ kg/m}^3$

Perhitungan :

• Froude Number Dasar

$$\begin{aligned}
 F_{n_o} &= \frac{V_s}{\sqrt{g \cdot L}} \\
 &= \frac{3.086}{\sqrt{9.81 \times 55.3}} \\
 &= 0.133
 \end{aligned}$$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

• Perhitungan ratio ukuran utama kapal :

$L_o/B_o = 4.589 \rightarrow$
 $B_o/T_o = 5.470 \rightarrow$
 $T_o/H_o = 0.640 \rightarrow$

Parametric design halaman 11-7

Parametric design halaman 11-9

• Block Coefficient

Parametric design halaman 11-11

$$\begin{aligned}
 C_b &= -4.22 + 27.8 \sqrt{F_n} - 39.1 F_n + 46.6 F_n^3 \\
 &= 0.854
 \end{aligned}$$

• Midship Section Coefficient

$$\begin{aligned}
 C_m &= 1.006 - 0.0056 C_b^{-3.56} \\
 &= 0.996
 \end{aligned}$$

Parametric design halaman 11-12

• Waterplan Coefficient

Parametric design halaman 11-16

$$\begin{aligned}
 C_{wp} &= C_b / (0.471 + 0.551 C_b) \\
 &= 0.907
 \end{aligned}$$

• Longitudinal Center of Bouyancy

Parametric design halaman 11-19

$$\begin{aligned}
 LCB &= 8.80 - 38.9 F_n \\
 &= 3.645 \text{ m} \\
 L_{pp}/2 &= 27.650 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Di depan midship

Jarak AP ke Transom = 2.212 m

LCB dari AP =	31.295 m
LCB dari FP =	24.005 m

• Prismatic Coefficient

$$\begin{aligned}
 C_p &= C_b / C_m \\
 &= 0.857
 \end{aligned}$$

• Lwl

$$\begin{aligned}
 L_{wl} &= 0.4 L_{pp} \\
 &= 57.51 \text{ m}
 \end{aligned}$$

• ∇ (m³)

$$\begin{aligned}
 \nabla &= L \cdot B \cdot T \cdot C_B \\
 &= 1303.713 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

• Δ (ton)

$$\begin{aligned}
 \Delta &= L \cdot B \cdot T \cdot C_B \cdot \gamma \\
 &= 1336.306 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

PERHITUNGAN TAHANAN SELF PROPELLED BARGE

Rumus yang digunakan adalah formula yang diberikan

Henschke (1978). Dalam formula tersebut tahanan tongkang dibagi menjadi dua komponen :

1. Tahanan Air
2. Tahanan Angin

Tahanan Air :

$$W = f.s.V^{1.83} + P.F_x.V^2 \quad (\text{kg})$$

Tahanan Angin :

$$W = 0,0041 \cdot (0,3A_1 + A_2) \cdot V_a^2 \quad (\text{lbs})$$

Dimana,

f	=	Konstanta Bahan	
s	=	Luas Permukaan Basah	(m ²)
V	=	Kecepatan Kapal	(m/s)
P	=	Konstanta bentuk tongkang	
F _x	=	Luas penampang midship	(m ²)
A ₁	=	Luas penampang melintang kapal diatas permukaan	(ft ²)
A ₂	=	Luas proyeksi transversal bangunan atas	(ft ²)
V _a	=	Kecepatan relatif angin	(ft/sec)
Lpp	=	55.30 m	
Lwl	=	57.51 m	
B	=	12.05 m	
T	=	2.20 m	
H	=	3.44 m	
f	=	0.17 m	Untuk bahan baja
s	=	821.64 m ²	Rumus Holtrop
V	=	6 knot	
	=	3.09 m/s	
P	=	20	Untuk kapal dengan rake haluan/buritan bersudut 45°
F _x	=	41.327 m ²	
A ₁	=	14.941 m ²	
		160.826 ft ²	1 m ² = 10.76391 ft ²
A ₂	=	0.00 m ²	
		0.00 ft ²	
V _a	=	8 knot	
		4.1152 m/s	
		13.50248 ft/sec	1 knot = 1.68781 ft/sec

Tahanan Air

$$W_{\text{water}} = f.s.V^{1.83} + P.F_x.V^2$$

$$= 8,972.02 \text{ kg}$$

$$= 88.02 \text{ KN}$$

Tahanan Angin

$$W_{\text{wind}} = 0,0041 \cdot (0,3A_1 + A_2) \cdot V_a^2$$

$$= 36.06529 \text{ lbs}$$

$$= 16.35614 \text{ Kg} \quad ; 1 \text{ kg} = 2.205 \text{ lbs}$$

$$= 0.160454 \text{ KN}$$

Tahanan Total

$$\begin{aligned}
 W_{\text{total}} &= W_{\text{water}} + W_{\text{wind}} \\
 &= 88.18 \text{ KN} \\
 RT &= W_{\text{total}} + \text{margin } 15\% \\
 RT &= 101.4023 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Daya mesin**Pe = EHP = Effective horse power**

$$\begin{aligned}
 Pe &= RT \times Vs \\
 Pe &= 312.97 \text{ kw} \quad 419.6971 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Pd = DHP = Delivered horse power

$$\begin{aligned}
 Pd &= \frac{Pe}{\eta_d} \quad \eta_d = 0.784227 \\
 Pd &= 399.0785 \text{ kw} \quad 535.1729 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

P_B = BHP = Brake Horse Power

$$\begin{aligned}
 P_B &= \frac{Pd}{\eta_s \cdot \eta_{rg}} \\
 \eta_s &= \text{Shaft efficiency} \\
 &= 0.98 - 0.985 \\
 \eta_{rg} &= \text{Reduction gear efficiency} \\
 &= 0.98 \\
 P_B &= 415.5336 \text{ kw} \quad 309.8634 \\
 \text{Koreksi :} & \\
 \text{Kamar mesin di belakang} &= 3\% P_B = 12.46601 \\
 \text{Daerah pelayaran} &= 15\% - 40\% P_B = 62.33004 \\
 &15\% P_B \\
 \text{Total } P_B &= 490.33 \text{ KW} \quad 1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kw} \\
 &= 657.54 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Main Engine

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Main Engine} &= 1 \text{ Unit} \\
 \text{Daya tiap mesin} &= 657.54 \text{ HP} \quad 490.33 \text{ KW} \\
 \text{Daya Terpasang} &= 965.54 \text{ HP} \\
 \text{Panjang} &= 2.767 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 1.483 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 1.348 \text{ m} \\
 \text{Berat} &= 7.20 \text{ Ton} \\
 \text{Koefisien Konsumsi} &= 0.085 \text{ Ton/Hour}
 \end{aligned}$$

Auxiliary Engine

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan AE} &= 131.51 \text{ HP} \quad ; \text{Pendekatan } 20\% \text{ ME ditambah kebutuhan RO} \\
 \text{Jumlah AE} &= 1.00 \text{ Unit} \\
 \text{Daya tiap mesin} &= 131.51 \text{ HP} \quad 98.06593 \text{ kw} \\
 \text{Daya Terpasang Tiap Mesin} &= 134.10 \text{ HP} \\
 \text{Panjang} &= 2.070 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 1.117 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 1.685 \text{ m} \\
 \text{Berat} &= 1.03 \text{ Ton} \\
 \text{Koefisien Konsumsi} &= 0.018 \text{ Ton/hour}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Berat dan Displacement

$$1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kw}$$

Berat Machinery

Daya Tiap Mesin	=	490.33 Kw
Berat mesin	=	7.20 Ton
Jumlah Mesin	=	1 Unit
Berat ME	=	7.2 Ton

Berat Auxiliary Engine

Daya Tiap Mesin	=	98.07 Kw
Berat tiap mesin	=	1.03 Ton
Jumlah Mesin	=	1.00 Unit
Berat AE	=	1.03 Ton

Berat Remainder

$W_r = K \cdot MCR^{0.7}$		
K	=	0.72 Untuk sejenis Oil Barge
MCR	=	490.33 kw
$W_r =$	=	27.52 Ton
Total (Wma)	=	35.75 Ton

PERHITUNGAN LWT

1. Perhitungan berat baja kapal dari Parametric Design.

$$W_{st} = W_{si}' (1 + 0.05(C_b' - C_b))$$

Perhitungan Wsi

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36}$$

Perhitungan faktor E

$$E = L \cdot (B + T) + 0.85 \cdot L(D - T) + 0.85(l_1 \cdot h_1) + 0.75(l_2 \cdot h_2)$$

Dimana,

l1 (Panjang bangunan atas)	=	5.53 m
h1(tinggi l1)	=	1.80 m
l2(Panjang houses)	=	8.40 m
h2(tinggi l2)	=	1.80 m

$$E = 866.27$$

Perhitungan tabel K (Tabel 4.1 hal. 85)

Faktor K untuk barge

Min	Max	Daimbil
0.029	0.035	0.029

$$W_{si} = K \cdot E^{1.36} = 286.82 \text{ Ton}$$

Net Steel Weight

$W_{si}' = W_{si} - (\% \text{Scrap} \cdot W_{si})$. Persen scrap menunjukkan sejumlah bagian baja yang hilang karena proses kerja. Nilai persen scrap merupakan fungsi dari C_b serta jenis dan ukuran kapal. Pendekatan grafik dilakukan untuk menentukan persen scrap. Berdasarkan (David G.M Watson, Practical Ship Design, 1998)

$$\% \text{Scrap} = 5,022 C_b^{-1.57}$$

$$\% \text{ Scrap} = 6.434 \%$$

Koreksi %Scrap

Kondisi	Min	Max	Diambil
Kapal dengan L < 45	=	3%	3%
Kapal dengan L < 60	=	1%	2%
Kapal dengan L < 100	=	0.50%	1%
Besarnya penambahan yang digunakan			2%

$$\text{Total Scrap} = 8.43\%$$

$$W_{si}' = 262.63 \text{ Ton}$$

Koreksi perhitungan berat baja kapal

Rumus diatas pada kapal dengan C_b 0,7 dan 0,8H. Oleh karena itu perlu dilakukan koreksi

$$W_{st} = W_{si}' (1 + 0.05(C_b' - C_b))$$

$$C_b' = C_b + (1 - C_b) \cdot ((0.8 H - T) / 3 \cdot T) = 0.913$$

Maka,

$$W_{st} (\text{Berat baja}) = 263.40 \text{ Ton}$$

2. Perhitungan berat E&O (Ship Design For Efficiency & Economy)

$$L = 55.30$$

$$B = 12.05$$

$$D = 3.44$$

$$C_{alv} = 165 \text{ [kg/m}^2 \text{]}$$

$$C_{eo \text{ main deck}} = 0.18 \text{ ton/m}^2 \quad ; \text{Pendekatan } 0,18 - 0,26$$

$$\text{Luas Forecastle} = 66.64 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat EO Forecastle} = 11.00 \text{ Ton}$$

$$\text{Luas Main Deck} = 67.20 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat EO Main Deck} = 11.09 \text{ Ton}$$

$$\text{Luas Second Deck House} = 41.40 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat EO Second Deck House} = 6.83 \text{ Ton}$$

$$\text{Luas Wheel House} = 32.40 \text{ m}^2$$

$$\text{Berat EO Wheel House} = 5.35 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat EO selain houses} = 31.31 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat Total EO} = 65.57 \text{ Ton}$$

3. Perhitungan berat instalasi permesinan

$$W_{me} = 35.75 \text{ Ton}$$

$$LWT = 364.72 \text{ Ton}$$

4. Perhitungan berat cadangan

$$\text{Diambil} = 3\%$$

$$W_{res} = 10.94164612 \text{ Ton}$$

$$\text{Total LWT} = 375.66 \text{ Ton}$$

PERHITUNGAN DWT

I. Payload = 1000 Ton

II. Consumable per trip :

1. Kebutuhan bahan bakar

MFO	Main Engine		
	Daya Main Engine	=	490.33 kw
	Jumlah Mesin	=	1
	Seatime	=	94.33 Jam
	Koefisien konsumsi	=	0.085 Ton/hour
	Kebutuhan BB Main Engine	=	8.03 Ton
	Koreksi 10%	=	0.80 Ton
	Total BB Main Engine + 10%	=	8.83 Ton
MDO	Auxilliary Engine		
	Daya Auxilliary Engine	=	98.07 kw
	Jumlah Mesin	=	1
	Turn Around Time	=	204.13 Jam
	Koefisien konsumsi	=	0.02 Ton/hour
	Kebutuhan BB Auxilliary Engine	=	3.685 Ton
	Koreksi 10%	=	0.369 Ton
	Total BB Auxilliary Engine + 10%	=	4.054 Ton

2. Kebutuhan minyak pelumas

Dari Watson =	35 Liter/day /	1000 kw	
	0.035 Liter/day /	1 kw	
LO Main Engine =	0.001 Ton/hour		
LO Auxilliary Engine =	0.00013 Ton/hour		
Wlo =			0.089 Ton/Trip

3. Kebutuhan air tawar per trip

#kebutuhan air tawar untuk mandi, minum, dan masak

Kebutuhan air tawar untuk crew	=	100 kg/person/days
Jumlah crew	=	15 orang
Waktu pelayaran	=	4.87 hari
Berat air tawar per trip	=	7.31 Ton

#kebutuhan air tawar untuk pendingin mesin

Konsumsi air tawar	=	2 ~ 5 kg/HP
Diambil	=	2 kg/HP
Daya mesin utama	=	657.54 HP
Jumlah mesin utama	=	1 Unit
Berat air tawar	=	1.3151 Ton
Waktu pelayaran	=	3.93 Hari
Berat air tawar per trip	=	5.17 Ton/trip
Total berat air tawar	=	12.48 Ton

4. Berat makanan (Provisions)

Konsumsi provisions	=	10 kg/person/days
Jumlah crew	=	15 orang
Turn Around Time	=	4.87 Hari
Berat provisions	=	730.6 kg
	=	0.73 ton

5. Berat orang dan bawaan

Konstanta berat orang dan bawaan = 85 kg/persons

Jumlah crew = 15 orang

Berat crew dan bawaan = 1275 kg

1.275 Ton

Total DWT = 1027.5 Ton

Displacement 1 (LWT + DWT) = 1403.12 Ton

Displacement 2 (L x B x T x Cb x rho) = 1336.31 Ton

Selisih = 66.82 Ton

= 5.00%

Pendekatan Perencanaan Ruang dan Tonnage

Self Propeller Oil Barge (SPOB)

Reference : "Analisa Teknis dan Ekonomis Self Propelled Oil Barge (Evan Eryanto, 2012)"

Input:

L =	55.30 m
B =	12.05 m
H =	3.44 m
T =	2.20 m

Jarak Gading

Asumsi Jarak gading	=	2,5L + 410 mm	
	=	548.25 mm	
Diambil	=	600 mm	; Referensi BKI 2006
Jumlah gading Total	=	76	

1. Kamar Mesin

Lkm	=	Lme + Lae + Koreksi	
Koreksi kamar mesin	=	3 m	Gd. Belakang= 3
Lkm	=	7.837 m	Gd. Depan= 17
Lebar (B)	=	12.05 m	
Tinggi (H)	=	3.442756096 m	
Volume	=	325.1195982 m3	
Lkm sesuai gading	=	8.4 m	

2. Ceruk buritan

Jarak dari AP	=	3 m	;5 gading
Gading akhir	=	3 No.	
Lebar (B)	=	12.05 m	
Tinggi (H)	=	1.721378048 m	;Dibagi dua karena bentuk buritan
Volume	=	62.22781643 m3	SPOB

3. sekat tubrukan

Berdasarkan BKI Vol II, untuk kapal L < 200 m adalah (0,05 - 0,08)L dari FP.			
Jarak dari FP	=	2.765 m	;diambil 0,05L
Panjang Sekat	=	4.1 m	; Yang diijinkan 4,135 -6,616 m
Lebar (B)	=	12.05 m	
Tinggi (H)	=	3.442756096 m	
Volume	=	170.0893649 m3	

4. Perencanaan ruang muat

Volume ruang yang dibutuhkan	=	980.4 m3	; Masa jenis = 1.02 Ton/m ³
Lebar (B)	=	10.05 m	double hull = 2
Tinggi (H)	=	2.44 m	
Panjang Ruang muat yang dibutuhkan	=	39.935 m	
Panjang Ruang muat tersedia	=	39.935 m	;L-(Lcb+Lkm+Lfc+Lfe+Lfo+Lcof)
Ruang muat total tersedia	=	980.39222 m3	
Persentase Terhadap kebutuhan	=	100%	0.0
			0.00%

Perencanaan Tanki Air Bersih

Kebutuhan Air Bersih	=	12.48 Ton
Volume kebutuhan Air Bersih	=	12.475 m3
Tinggi	=	1.721378048 m
Lebar	=	6.039 m
Panjang	=	1.2 m

a) Perencanaan Dimensi Tangki BB

Kebutuhan Bahan Bakar (MFO)	=	8.835 Ton	
Volume Kebutuhan BB	=	10.394 m3	
Koreksi ekspansi	=	0.416 m3	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Bahan Bakar	=	10.809 m3	Panas= 2%
Tinggi	=	1.2 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Starboardside)	=	3.753 m	
Lebar (Portside)	=	3.753 m	
Panjang	=	1.2 m	;3 jarak gading

b) Perencanaan Dimensi Tangki Diesel Oil			
Kebutuhan BB (Diesel Oil)	=	4.054 Ton	
Volume Diesel Oil	=	4.769 m3	
Koreksi Ekspansi	=	0.191 m3	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Diesel Oil	=	4.960 m3	Panas= 2%
Tinggi	=	1.20 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Starboardside)	=	4.133 m	
Panjang	=	1 m	;1 jarak gading
c) Perencanaan Dimensi Tangki Lub Oil			
Kebutuhan Lub Oil	=	0.089 Ton	
Volume Lub Oil	=	0.097 m3	
Koreksi ekspansi	=	0.004 m3	Koreksi Ekspansi :
Volume Total Lub Oil	=	0.101 m3	Panas= 2%
Tinggi	=	1.2 m	Konstruksi= 2%
Lebar (Portside)	=	0.168 m	
Panjang	=	0.5 m	
d) Perencanaan Cofferdam			
Panjang	=	1.2 m	;2 jarak gading
Lebar	=	12.05 m	
Tinggi	=	3.442756096 m	
Volume	=	49.78225314 m3	
7. Perencanaan Akomodasi (Referensi: Perencanaan Self Propelled Oil Barge (Evan Eryanto))			
1) Forecastle			
Panjang	=	5.53 m	;Pendekatan 10% Panjang Kapal
Lebar	=	12.05 m	; Pendekatan sama dengan B
Tinggi	=	1.8 m	;asumsi dari H
Luas Transversal	=	21.69 m2	
Volume	=	119.9457 m3	
2) Deck House at Main Deck			
Panjang (Ldh)	=	8.4 m	; pendekatan Panjang Kamar Mesin
Lebar (Bdh)	=	8 m	; Pendekatan, B - 2
Tinggi (Asumsi)	=	1.8 m	;asumsi
Luas Transversal	=	14.4 m2	
Volume	=	120.96 m3	
3) Second deck house			
Panjang (Lsd)	=	6.9 m	; Pendekatan, Ldh - 1,5
Lebar (Bsd)	=	6 m	; Pendekatan, Bdh - 2
Tinggi (Asumsi)	=	1.8 m	;asumsi
Luas Transversal	=	10.8 m2	
Volume	=	74.52 m3	
4) Wheel House			
Panjang (Lwh)	=	5.4 m	; Pendekatan, Lsd - 1,5
Lebar (Bwh)	=	6 m	; Pendekatan, seukuran dengan Bsd
Tinggi	=	1.8 m	;asumsi
Luas Transversal	=	10.8 m2	
Volume	=	58.32 m3	
9. Double Bottom			
Tinggi double bottom (Hdb)	=	300+45B mm	
	=	750 mm	
	=	1 m	
Panjang double bottom	=	39.935 m	; Gading sekat haluan - Sekat Buritan
Lebar (Bdb)	=	12.05 m	
Volume	=	481.217 m3	
10.GROSS TONNAGE			
Total Enclosed Space	=	2442.574 m3	
K1	=	0.268	;0,2+0,02*Log10(V)
Gross Tonnage	=	654	; V*K1

PERHITUNGAN TITIK BERAT KAPAL

Self Propelled Oil Barge

Input:

L = 55.30 m
B = 12.05 m
H = 3.44 m
T = 2.20 m

Perhitungan :

1. Titik berat baja kapal

Reference : Harvald & Jensen Method (1992)

$$KG = CKG \times DA$$

Dimana :

DA = Tinggi kapal setelah dikoreksi dengan superstructure dan deck house

$$= D + \frac{(Va + Vdh)}{L \cdot B}$$

Va = Volume bangunan atas (Forecastle)

$$= 119.95 \text{ m}^3$$

Vdh = Volume Deck House

1. Deck House at main deck =	120.96 m ³
2. Second Deck House =	74.52 m ³
3. Wheel House =	58.32 m ³
Total =	253.8 m ³

$$DA = 4.00 \text{ m}$$

CKG = Koefisien titik berat KG

$$= 0.52$$

maka,

$$KG = CKG \times DA$$

$$= 2.082 \text{ m}$$

$$LCG = -0,15 + LCB \cdot \% \text{ Midship}$$

$$LCB = 3.13 \%$$

$$LCG = 2.98 \%$$

$$LCG = 1.649 \text{ Dari Midship}$$

$$LCG = -26.00141654 \text{ Dari FP}$$

$$Wst = 0.913 \text{ Ton}$$

$$W \times KG = 1.901$$

$$W \times LCG = -23.742$$

Type kapal	CKG
Passanger ship	0.67 – 0.72
Large cargo ship	0.58 – 0.64
Small cargo ship	0.60 – 0.80
Bulk carrier	0.55 – 0.58
Tankers	0.52 – 0.54

$$-13,5 + (19,4 \cdot F11)$$

2. Titik berat Permesinan

Reference : Ship Design for Efficiency and Economy , 1998. Page : 173

$$KGm = Hdb + 0,35 (D - Hdb)$$

Hdb = Tinggi double bottom

$$= 300 + 45B \text{ mm}$$

$$= 0.75 \text{ m}$$

$$KGm = 1.692 \text{ m}$$

$$LCGm = -0,5L + Lcb + Lkm/2$$

$$LCGm = -20.45 \text{ m ; dari midship}$$

$$LCGm = -48.1 \text{ m ; dari FP}$$

$$Wme = 35.75 \text{ Ton}$$

$$W \times KG = 60.50515701$$

$$W \times LCG = -2910.298052$$

3. Titik berat Equipment Outfitting

Reference : Ship Design for Efficiency and Economy , 1998. Page : 166

Kgeo = 1,02 - 1,08*DA ; Diambil 1,02
Kgeo = 4.084 m

LCGeo

A) LCGeo permesinan

Weo = 8.937 Ton ; Pendekat: 25% Weo Total
LCG1 = -20.45 Dari Midship ; Ditengah Lkm, L-Lcb-0,5Lkm
-48.1 Dari FP

Momen = -429.8905269

B) LCGeo Forecastle

Weo = 11.00 Ton
LCG2 = 24.885 Dari Midship ; Ditengah Forecastle deck
-3 Dari FP

Momen = -30.40123721

C) LCGeo Deck House at Main Deck

Weo = 11.09 Ton
LCG2 = -20.45 Dari Midship ; Ditengah Deck House at main deck
-48.1 Dari FP

Momen = -533.3328

D) LCGeo Second Deck House

Weo = 6.83 Ton
LCG2 = -19.7 Dari Midship ; Ditengah Second deck House
-47.35 Dari FP

Momen = -323.44785

E) LCGeo Wheelhouse

Weo = 5.35 Ton
LCG2 = -18.95 Dari Midship ; Ditengah wheel house
-46.6 Dari FP

Momen = -249.1236

F) LCGeo wheather Deck

Weo = 22.373 Ton
LCG2 = 26.098 Dari FP
53.748 Dari Midship

Momen = 1202.476

Momen Total= -363.7197774

LCGeo = -5.547033124 Dari FP

LCGeo = -33.19703312

Weo = 65.57 Ton

W x KG = 267.7688755

W x LCG = -363.7197774

4. Titik berat Consumable

A) Titik berat air tawar

Wair = 12.48 Ton
KG = 1.721378048 m ; Tinggi Fresh Water Tank dibagi 2
LCG = 0.6 Dari AP ; Panjang Fresh Water Tank dibagi 2
-54.7 Dari FP

Momen LCG = -682.386

Momen KG = 21.474

B) Titik berat Bahan Bakar

Wbb = 19.93 Ton
KG = 1.721378048 m ; Tinggi FO Tank dibagi 2
LCG = 2.4 Dari AP ; Panjang FO Tank dibagi 2
-37.6 Dari FP

Momen LCG = -749.403979

Momen KG = 34.30871166

C) Titik berat Minyak Lumas

Wlo = 0.0889 Ton
KG = 1.721378048 m ; Tinggi LO Tank dibagi 2
LCG = 2.4 Dari AP ; Panjang LO Tank dibagi 2
-37.6 Dari FP
Momen LCG = -3.343
Momen KG = 0.153

D) Titik berat Crew dan Bawaan di deck house at main deck (4 orang)

Wcr = 0.34 Ton
KG = 3.7 m
LCG = 4.2 Dari AP
-35.8 Dari FP
Momen LCG = -12.172
Momen KG = 1.258

E) Titik berat Crew dan Bawaan di Second deck houses (4 orang)

Wcr = 0.34 Ton
KG = 5.5 m
LCG = 4.95 Dari AP
-35.05 Dari FP
Momen LCG = -11.917
Momen KG = 1.87

F) Titik berat Crew dan Bawaan di Wheelhouses

Wcr = 0.17 Ton
KG = 7.3 m ; Tinggi LO Tank dibagi 2
LCG = 5.7 Dari AP ; Panjang LO Tank dibagi 2
-34.3 Dari FP
Momen LCG = -5.831
Momen KG = 1.241

KG Consumable 1.81
LCG Consumable -43.93630176 Dari FP
Wcons = 33.34493475
W x KG = 60.31
W x LCG = -1465.053115

5. Titik berat Payload

Payload = 1000.00 Ton
KG = 2.221378048 m
LCG = 32.568 Dari AP
LCG = -22.733 Dari FP
W x KG = 2221.378
W x LCG = -22732.500 Dari FP

Titik Berat Total

KG = 2.366 m
LCG = -24.213 Dari FP

Perhitungan dan Koreksi Freeboard

(Reference : International Convention on Load Lines 1966 and protocol of 1988)

Input:

Lpp =	55.30 m
Lwl =	57.51 m
B =	12.05 m
H =	3.44 m
T =	2.20 m
Cb =	0.854
v =	1303.71 m ³

Input data

L = Length
 → 96% Lwl pada 0,85D
 → Lpp pada 0,85D
 Diambil yang terbesar

Pendekatan :

0,96 Lwl pada 0,85D =	55.212 m
Lpp pada 0,85D =	55.3 m

L = 55.3 m

Cb = **v**
 L.B. D₁

D₁ = 85%D = 2.926 m
 Cb = 0.669

s = Panjang superstructure
 = Lfc = Panjang Forecastle = 5.53 m

Perhitungan :

1. Tipe Kapal :

Tipe A : Kapal dengan persyaratan salah satu dari :

- 1) Kapal yang didesain memuat muatan cair dalam bulk
- 2) Kapal yang mempunyai integritas tinggi pada geladak terbuka dengan akses bukaan ke kompartemen yang kecil, ditutup sekat penutup baja yang kedap atau material yang equivalent
- 3) Mempunyai permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh

Kapal tipe A : Tanker, LNG Carrier

Tipe B : Kapal yang tidak memenuhi persyaratan pada kapal tipe A.

Kapal tipe B : Grain carrier, Ore carrier, general cargo, passenger ship, Ro-ro

2. Freeboard standard (Fb)

Yaitu freboard yang tertera pada tabel freeboard standar sesuai dengan tipe kapal.

Fb = 507 mm

Panjang	Freeboard
50	443
51	455
52	467
53	478
54	490
55	503
56	516
57	530
58	344
59	555
60	573

x1 =	55	y1 =	503
x2 =	56	y2 =	516

x = 55.30

(x-x1)	=	(y-y1)
(x2-x1)	=	(y2-y1)

(55.3-55)	=	(y-503)
(56-55)	=	(516-503)

0.30	=	(y-503)
1	=	13

y-503	=	3.9
y	=	506.9 mm

Fb = 506.9 mm
 = **0.507 m**

3. Koreksi-Koreksi

1) Correction for ship under 100 m in length

Untuk kapal dengan panjang $24 < L < 100$ m dan mempunyai superstructure tertutup dengan panjang efektif mencapai 35%L

$$Fb_1 = 7.5 (100-L)(0.35 - E/L)$$

E = Total panjang efektif superstructure

$$= 5.53 \text{ m}$$

$$35\%L = 19.355 \text{ m}$$

= E < 35% L, tidak ada koreksi

$$\text{Koreksi} = 83.8125 \text{ mm}$$

$$Fb_1 = 0 \text{ mm}$$

2) Block Coefficient Correction

Jika $C_b > 0,68$:

$$Fb_2 = Fb \cdot [(C_b + 0,68)/1,36]$$

$$\text{Koreksi} = 83.108 \text{ mm}$$

$$Fb_2 = 0.000 \text{ mm}$$

3) Depth Correction

Koreksi dilakukan apabila $D > L/15$

$$Fb_3 = R (D - L/15)$$

$$R = L/0,48$$

Untuk $L < 120$ m

$$R = 250$$

Untuk $L > 120$ m

$$L/15 = 3.687 \text{ m}$$

$$D = 3.44 \text{ m}$$

Maka, tidak koreksi

$$Fb_3 = 0.000$$

Jika $D < L/15$, tidak ada pengurangan kecuali jika mempunyai superstructure tertutup sebesar

0,6 L Amidship

$$\text{Superstructure tertutup} = 5.53 \text{ m} = 0.200 L$$

$$\text{Maka, } Fb_3 = 0.000 \text{ mm}$$

4) Koreksi Bangunan atas

Bila $h < h_s$, maka $l_s = (h/h_s) \cdot l$

Bila $h > h_s$, maka $l_s = 5.53 \text{ l}$

$$h = \text{Tinggi bangunan atas} = 1.8 \text{ m}$$

$$h_s = \text{Tinggi standar bangunan atas} = 1.8 \text{ m}$$

$$l = \text{Panjang bangunan atas} = 5.53 \text{ m}$$

$$l_s = \text{Panjang superstructure efektif} = 5.53 \text{ m}$$

$$E = 5.53 \text{ m}$$

$$x.L = 0.1 L$$

Jika $E < 1.0 L$ maka harga pengurangan freeboard diperoleh dari presentase dibawah ini :

Total Panjang Efektif Superstructure											
x . L	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Prosentase											
Penguran	0	7	14	21	31	41	52	63	75.3	87.7	100

Bila E berada diantaranya maka harga E diperoleh dengan interpolasi linier

$$\%Fb4 = 7\%$$

$$Fb4 = -35.483 \text{ mm}$$

5) Koreksi Sheer

Bila kapal menggunakan sheer standart, maka tidak ada koreksi sheer.

Kapal SPWB tidak menggunakan sheer, maka :

Koreksi Lengkung memanjang kapal (LMK)

$$\text{Tinggi Sheer di FP} = 0 \text{ m (sf)}$$

$$\text{Tinggi sheer di AP} = 0 \text{ m (Sa)}$$

$$A = 1/6 [2.5 (L+30) - 100(Sf-Sa)] \times [0.75 - (S / 2L)]$$

$$A = 24.87917 \text{ mm}$$

$$B = 0.125 \cdot L = 6.9125 \text{ mm}$$

$$S = \sum l_s = 5.53 \text{ mm}$$

Bila :

$A > 0$

Koreksi LMK = A

$A < 0$ dan $ABS(A) > B$

Koreksi LMK = B

$A < 0$ dan $ABS(A) < B$

Koreksi LMK = A

Koreksi LMK = 24.879 mm

6) Correction of minimum bow height

Kapal SPWB tidak menggunakan bow, maka

$Fb_6 = 0$ m

Rekapitulasi

1) Correction for ship under 100 m in length	0 mm
2) Block Coefficient Correction	0.000 mm
3) Depth Correction	0 mm
4) Koreksi Bangunan atas	-35.483 mm
5) Koreksi Sheer	24.87917 mm
6) Correction of minimum bow height	0 mm
Total Freeboard	496.30 mm
Actual Freeboard (H-T)	1239.94 mm
Kondisi Freeboard	OK

PERHITUNGAN STABILITAS

Input:	Lwl =	188.69 Feet	B =	39.53 Feet	
	T =	11.30 Feet	Ld =	18.14 Feet	; Panjang Bangunan Atas
	B _w =	39.53 Feet	d =	5.91 Feet	; Tinggi bangunan atas
	H-T	4.07 Feet	Cb =	0.854	
	D _m =	11.30 Feet	Cw =	0.907	Cb/(0.471+0.551Cb)
	Δ ₀ =	1315.26 Long Ton	Cx (Cm)=	0.996	1.006 - 0.0056Cb -3.56
	Sf =	0 Feet	Sa =	0.000 Feet	

Perhitungan Awal

C_{PV} = Vertical prismatic coefficient at draft H

= 0.94

A₀ = Area of waterline plane at designed draft

= 6765.94 ft²

A_M = Area of immersed midship section

= 444.84 ft²

S = Mean sheer

= Area of centerline plane above minimum depth divided by length

= 107.14

A₂ = Area of vertical centerline plane to depth D

= 2195.77 ft

D = Mean Depth

= 11.86 ft

F = Mean Freeboard

= 4.07 ft

Δ_T = Δ₀ + (((A₀+A₁)/2) F/35)

= 2105.60 ton

A₁ = area of waterline plane at depth D maybe estimate from

A₀ and nature of stations above waterline

= 6833.60 ft²

Kalkulasi

$$\begin{aligned}d &= \Delta_T - \Delta_0 \\ &= 2.00 \\ &= -262.46 \text{ ton}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_W' &= A_2 \\ &= L D \\ &= 0.98\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_X' &= A_M + BF \\ &= BD \\ &= 1.29\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{PV}' &= 35\Delta_T \\ &= A_1 D \\ &= 0.91\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_{PV}'' &= 35 \Delta_T \\ &= A_2 B \\ &= 0.85\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_W'' &= C_W' - \frac{140d(1-C_{PV}'')}{B \cdot D \cdot L} \\ &= 1.04\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_0 &= H \left(\frac{A_1}{A_0} - 1 \right) \\ &= \frac{2F(1 - C_{PV})}{2F(1 - C_{PV})} \\ &= 0.24\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_1 &= \frac{D(1 - (A_0/A_1))}{2F(1 - C_{PV})} \\ &= 0.16\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_2 &= 9,1(C_X' - 0,89) \quad \text{jika } C_X' \geq 0.89, \text{ maka } = 9.1 \cdot (C_X' - 0.89), \text{ jika tidak } = 0 \\ &= 3.65\end{aligned}$$

$$KG = 2.366$$

Factor h1

$$f=0 = 1.249 * C_{pV'}^4 + (-3.4551) * C_{pV'}^3 + 3.5356 * C_{pV'}^2 + (-1.2507) * C_{pV'} + 0.4288$$

$$0.471$$

$$f=0,5 = 1.0972 * C_{pV'}^4 + (-3.0685) * C_{pV'}^3 + 2.9550 * C_{pV'}^2 + (-0.7889) * C_{pV'} + 0.3050$$

$$0.470$$

$$f=1 = 0.8225 * C_{pV'}^4 + (-1.8735) * C_{pV'}^3 + 0.9772 * C_{pV'}^2 + 0.6029 * C_{pV'} + (-0.0282)$$

$$0.482$$

$$h1 = \text{jika } 0 \leq f1 \leq 0.5, \text{ maka } = (f=0) + [(f1-0/0.5-0)] * ((f=0.5)-(f=0))$$

$$\text{jika tidak } = (f=0.5) + [(f1-0.5)/1-0.5] * (f=1) - f=0.5$$

$$0.311$$

$$KG' = D(1-h_1) \Delta_T - d$$

$$2 A_0$$

$$= 1.50$$

$$GG' = KG' - KG$$

$$= -0.86 \quad m$$

Factor h0

$$f=0 = 1.249 * C_{pV}^4 + (-3.4551) * C_{pV}^3 + 3.5356 * C_{pV}^2 + (-1.2507) * C_{pV} + 0.4288$$

$$0.483$$

$$f=0,5 = 1.0972 * C_{pV}^4 + (-3.0685) * C_{pV}^3 + 2.9550 * C_{pV}^2 + (-0.7889) * C_{pV} + 0.3050$$

$$0.478$$

$$f=1 = 0.8225 * C_{pV}^4 + (-1.8735) * C_{pV}^3 + 0.9772 * C_{pV}^2 + 0.6029 * C_{pV} + (-0.0282)$$

$$0.4884$$

$$h0 = \text{jika } 0 \leq f1 \leq 0.5, \text{ maka } = (f=0) + [(f1-0/0.5-0)] * ((f=0.5)-(f=0)), \text{ jika tidak } = (f=0.5) + [(f1-0.5)/1-0.5] * (f=1) - f=0.5$$

$$= 0.3140$$

$$KB_0 = (1 - h_0)H$$

$$= 7.75 \quad m$$

$$G'B_0 = KG' - KB_0$$

$$= -6.25$$

Factor h2

$$f=0 = 1.249 * C_{pV}^4 + (-3.4551) * C_{pV}^3 + 3.5356 * C_{pV}^2 + (-1.2507) * C_{pV} + 0.4288$$

$$0.44994$$

$$f=0,5 = 1.0972 * C_{pV}^4 + (-3.0685) * C_{pV}^3 + 2.9550 * C_{pV}^2 + (-0.7889) * C_{pV} + 0.3050$$

$$0.4538$$

$$f=1 = 0.8225 * C_{pV}^4 + (-1.8735) * C_{pV}^3 + 0.9772 * C_{pV}^2 + 0.6029 * C_{pV} + (-0.0282)$$

$$0.4688$$

$$h2 = \text{jika } 0 \leq f2 \leq 0.5, \text{ maka } = (f=0) + [(f2-0/0.5-0)] * ((f=0.5)-(f=0)), \text{ jika tidak } = (f=0.5) + [(f2-0.5)/1-0.5] * (f=1) - f=0.5$$

$$0.5485$$

$$G'B_{90} = \frac{\Delta_T h_2 B}{4 \Delta_0} - \frac{17,5 d^2}{\Delta_0 (A2-70(d/B)(1-C_{pV}))}$$

$$= \frac{8.68}{ft}$$

$$c1 = 0.5539 * C_W^4 + (-1.4209) * C_W^3 + 1.5132 * C_W^2 + (-0.6043) * C_W + 0.0067$$

$$0.0181$$

$$BM_0 = \frac{C_L L B_W^3}{35 \Delta_0}$$

$$= \frac{4.58}{ft}$$

$$c1' = 0.3449 * C_W^4 + (-0.9626) * C_W^3 + 0.9987 * C_W^2 + (-0.3258) * C_W + 0.032$$

$$0.78$$

$$BM90 = [(c1' * L * D^3) / 35 * \Delta_T] + [(Ld * d * D^2) / 140 * \Delta_T]$$

$$5.42$$

$$Gm_o = Kb_o + Bm_o - KG$$

$$= 9.96$$

$$G'm_o = Kb_o + Bm_o - KG'$$

$$= 10.83$$

$$G'm_{90} = Bm_{90} - G'B_{90}$$

$$= -3.25$$

$$b1 = [9 * (G'B_{90} - G'B_0) / 8] - [(G'M_0 - G'M_{90}) / 32]$$

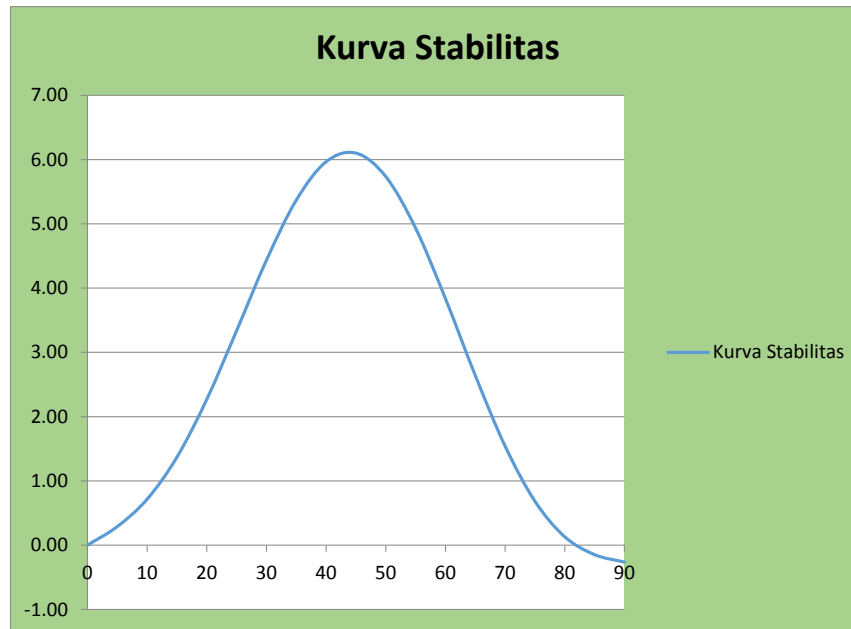
$$= 16.35009454$$

$$b2 = \frac{G'M_0 + G'M_{90}}{8}$$

$$= 0.946945108$$

$$b3 = 3 * (G'M_0 - G'M_{90}) / 32 - 3 * (G'B_{90} - G'B_0) / 8$$

$$-4.28$$



Persyaratan Stabilitas

Faktor Lengan	1
MG pada sudut oleng 0°	3.04 m
h pada sudut oleng $> 20^\circ$	2.27 m
h pada sudut oleng $> 30^\circ$	4.43 m
h maksimum pada sudut	43.85 deg
lengan dinamis pada 30°	0.58 m.rad
lengan dinamis pada 40°	0.93 m.rad
periode oleng	0.52 detik
Luas antara 30° dan 40°	0.34

Syarat IMO antara 30° sampai $40^\circ > 0.03$ m rad, jadi memenuhi kriteria

Luas pd 30° 0.5835 Syarat IMO pada $30^\circ > 0.055$ m rad, jadi memenuhi kriteria

Luas pd 40° 0.9273 Syarat IMO pada $40^\circ > 0.090$ m rad, jadi memenuhi kriteria

PERHITUNGAN TRIM

Perhitungan trim dilakukan berdasarkan formula yang diberikan Parsons (2001). Batasan yang digunakan adalah $\leq 0,05$ %. Formula untuk menghitung trim adalah sebagai berikut :

L =	55.30 m		Cb =	0.854
B =	12.05 m		Cwp =	0.907
T =	2.203 m		V =	1303.71 m ³
Cm =	0.996		KG =	2.37 m
LCB (%) =	3.13 %	Midship	Cp =	0.857
LCB (FP) =	-24.005		LCG (FP) =	-24.21262

KB/T =	0.9-0.3Cm-0.1Cb
=	0.52
KB =	KB/T x T
=	1.14
C ₁ =	0.1216Cw - 0.041
=	0.07
I _T =	C ₁ x Lpp x B ³
=	6704.60
BM _T =	I _T /v
=	5.14
C _{IL} =	0.35Cw ² - 0.405Cw + 0.146
=	0.07
I _L =	C _{IL} x B x Lpp ³
=	135706.99
BM _L =	I _L / V
=	104.09
GM _L =	BM _L + KB - KG
=	102.86
Trim =	Ta - Tf
=	(LCG - LCB) x L / GM _L
=	0.028
Kondisi =	trim buritan
Persentase =	0.05%

Perhitungan Biaya Pembangunan Kapal

(Reference : Practical Ship Design, D.G.M. Watson)

Perhitungan:

Biaya Pembangunan Kapal

Rekapitulasi Berat :

Input Data:

Berat Baja	Wst =	263.40	Ton
Berat Perlengkapan	Weo =	65.57	Ton
Berat Permesinan	Wme =	35.75	Ton
Nilai tukar Rupiah	1 Dolar =	12,600	Rupiah

(Sumber: Bank BNI, Januari 2015)

Perhitungan :

1) Structural Cost

$$Pst = Wst \times Cst$$

$$Cst = 3,871.46 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{Maka, } Pst = 1,019,748.84 \text{ \$}$$

$$\text{Rp. } 12,848,835,355 \text{ Rupiah}$$

2) Outfitting Cost

$$Peo = Weo \times Ceo$$

$$Ceo = 18,236 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{Maka, } Peo = 1,195,715.50 \text{ \$}$$

$$\text{Rp. } 15,066,015,342.25 \text{ Rupiah}$$

3) Machinery Cost

$$Pme = Wme \times Cme$$

$$Cme = 19,607.393 \text{ \$/Ton}$$

$$\text{Maka, } Pme = 700,959.058 \text{ \$}$$

$$\text{Rp. } 8,832,084,132.30 \text{ Rupiah}$$

4) Non-Weight Cost

$$Pnw = Cnw \times (Pst + Peo + Pme)$$

$$Cnw = 10\% \text{ ;asumsi}$$

$$\text{Maka, } Pnw = 291,642.34 \text{ \$}$$

$$\text{Rp. } 2,621,864,635.842$$

$$\text{Total Cost} = 2,916,423.399 \text{ \$}$$

$$36,746,934,829.379 \text{ Rupiah}$$

Regresi Kurva Structural Cost, Machinery Cost dan Outfit Cost

[Adapted from : Practical Ship Design , David G. M. Watson]

Structural Cost		Structural Cost	
X	Y	X	Y
446.11	4016.44	17000.00	1864.79
1000.00	3573.25	18000.00	1831.24
2000.00	3177.98	19000.00	1801.64
3000.00	2920.54	20000.00	1775.87
4000.00	2747.85	21000.00	1753.82
5000.00	2615.74	22000.00	1734.88
6000.00	2504.97	23000.00	1717.95
7000.00	2409.15	24000.00	1701.91
8000.00	2324.65	25000.00	1685.99
9000.00	2250.50	26000.00	1670.22
10000.00	2186.17	27000.00	1654.70
11000.00	2130.37	28000.00	1639.54
12000.00	2080.29	29000.00	1624.81
13000.00	2033.18	30000.00	1610.40
14000.00	1987.39	31000.00	1596.18
15000.00	1943.50	31275.60	1592.27
16000.00	1902.36		

Machinery Cost	
X	Y
0.00	20000.00
250.00	17404.86
500.00	15223.74
750.00	13526.95
1000.00	12207.74
1250.00	11254.79
1500.00	10651.59
1750.00	10236.66
2000.00	9849.90
2250.00	9481.23
2486.79	9246.10

Outfit Cost		Outfit Cost	
X	Y	X	Y
108.51	18095.88	1750.00	13984.85
250.00	17691.55	2000.00	13396.41
500.00	16989.06	2250.00	12875.38
750.00	16278.67	2500.00	12456.51
1000.00	15634.41	2750.00	12042.50
1250.00	15106.22	3000.00	11581.38
1500.00	14539.63	3106.81	11388.14

Hasil Regresi :

Structural Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	0.0000000000
b =	-0.0000000011
c =	0.0000297990
d =	-0.3899111919
e =	3972.1153341357

Machinery Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	-0.0000000001
b =	-0.0000002814
c =	0.0041959716
d =	-11.6043551506
e =	20016.8963585246

Outfit Cost

$$Y = aX^4 + bX^3 + cX^2 + dX + e$$

a =	0
b =	-0.0000001095
c =	0.0004870798
d =	-3.1578067922
e =	18440.6636505112

LAMPIRAN B. RENCANA GARIS

SHEER PLAN

Vertical Scale (m): 1.829, 1.629, 1.429, 1.229, 1.029, 0.829, 0.629, 0.429, 0.229, 0.029, 0.000 (BUL LINE)

Horizontal Stations: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 80

[illegible][illegible]

PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	SPB
CARGO TYPE	GRY MIXTURE
LENGTH WATER LINE (Lwl)	57.51 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR (Lpp)	55.30 m
BREADTH (B)	12.05 m
HEIGHT (H)	3.44 m
DRAFT @ FULL LOAD (T)	2.20 m
DRAFT @ EMPTY LOAD	0.6 m
DESIGNED SEA SPEED (V ₀)	6 KNOTS
DEADWEIGHT	1100 TON
PERSONAL	15 PERSONS

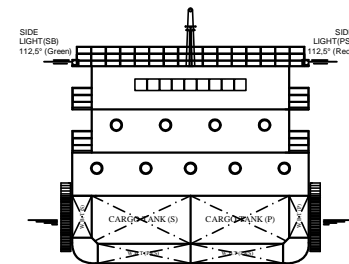
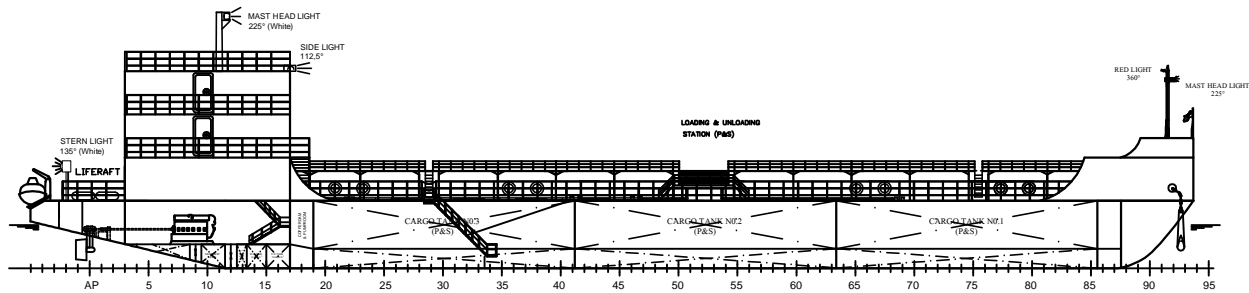
DEPT. OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERI
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAY

SELF-PROPELLED BARGE

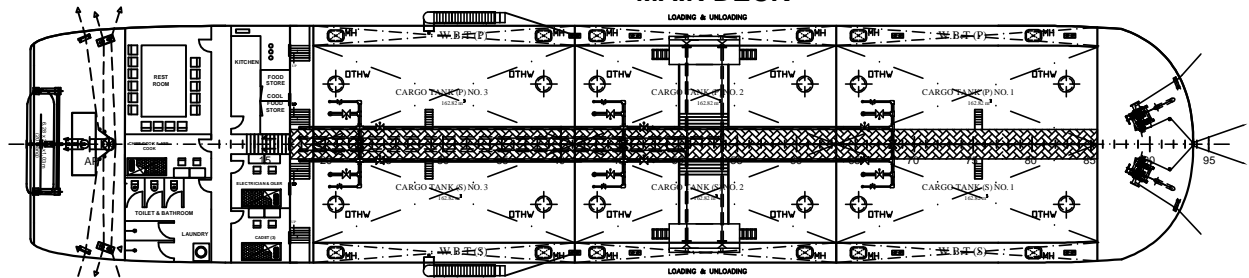
LINES PLANS

Scale : 1 : 200	Signature	Date	Note
Drawn by : M.Sayful Anam			NRP : 41101001
Approved by : Ir.Hesty Anita Kurniawati M.Sc			

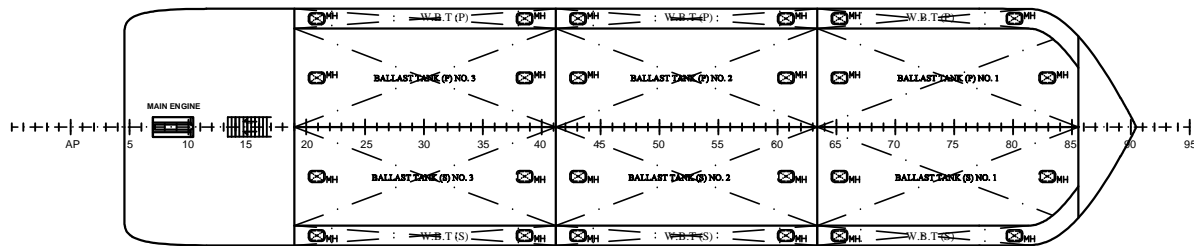
LAMPIRAN C. RENCANA UMUM



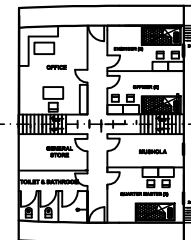
MAIN DECK



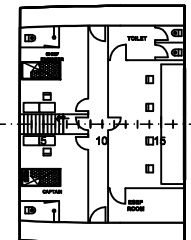
DOUBLE BOTTOM



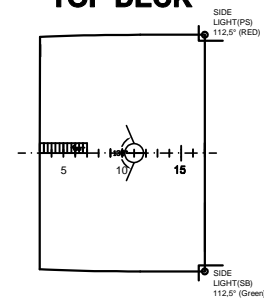
"A" DECK



NAVIGATION DECK



TOP DECK



PRINCIPAL DIMENSIONS	
SHIP TYPE	SPB
CARGO TYPE	GRLY MIXTURE
LENGTH WATER LINE (Lwl)	57.53 m
LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR (Lpp)	55.30 m
BREADTH (B)	12.05 m
HEIGHT (H)	3.44 m
DRAFT @ FULL LOAD (T)	2.20 m
DRAFT @ EMPTY LOAD	0.6 m
DESIGNED SEA SPEED (V)	6 KNOTS
DEADWEIGHT	1100 TON
PERSONAL	15 PERSONS

	DEPT. OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY SURABAY			
	SELF-PROPELLED BARGE			
	GENERAL ARRANGEMENT			
	Scale : 1 : 250	Signature	Date	Note
Drawn by : M. Bayu Azzam				NRP : 4110100
Approved by : E. Kesty Aslan Kuslambang M. Sa				

BIOGRAFI

BIOGRAFI PENULIS



Muhammad Sayful Anam, lahir di Kota Reog Ponorogo 15 Maret 1992, Menjalani wajib belajar pendidikan dasar sembilan tahun pada 1999-2004 di SDN Sumoroto 2 Ponorogo dan melanjutkan ke SMPN 1 Kauman Ponorogo, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMKN 1 Badegan Ponorogo hingga 2010. Lolos seleksi Beasiswa Bidikmisi Dikti tahun 2010 dan diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS 2010 dengan NRP 4110100061.

Selama masa kuliah, penulis aktif di bidang kemahasiswaan dari tingkat jurusan hingga tingkat institut, dan kepanitiaan Semarak Mahasiswa Perkapalan (SAMPAN) ITS selama 3 periode berturut-turut. Pengalamam pelatihan : Peserta pelatihan AUTOCAD 2D & 3D oleh Himatekpal tahun 2010, pelatihan LKMM pra-TD 2010, Pelatihan LKMM-TD 2011.

Guna memenuhi persyaratan menjadi Sarjana Teknik, penulis mengambil Tugas Akhir di bidang Rekayasa Perkapalan–Desain kapal yang berjudul “**Desain Self-Propelled Barge Pengangkut Limbah Minyak Di Kawasan Pelabuhan Indonesia III**”. Untuk info lebih lanjut, silakan hubungi via e-mail: msayfulanam@rocketmail.com